



**UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR**

**CURSO DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Tema: Sistema de Produção de Água, Via Osmose Inversa Acionado com Energia Solar Fotovoltaica

Estudo de caso: Localidade Calhau em São Vicente

Autor: Aleksandro Costa Sousa, N.º 3154

Orientador: Eng.º. Júlio César Medina

Mindelo, 2019

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Sistema Produção de Água, Via Osmose Inversa Acionado com Energia Solar Fotovoltaica

Autor: Aleksandro Costa Sousa, N.º 3154

Orientador: Eng.º Júlio César Medina

Mindelo, 2019

Aleksandro Costa Sousa

SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁGUA VIA OSMOSE INVERSA
ACIONADO COM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Projeto de trabalho de conclusão do curso,
apresentado à Universidade do Mindelo
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Licenciado em Engenharia em
Energias Renováveis.

Orientador: Eng.º Júlio César Medina

Mindelo, 2019

“Temos o destino que merecemos. O nosso destino está de acordo com os nossos méritos”.

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha família, à minha namorada que sempre me apoiaram ao longo dessa longa e gratificante jornada e ao meu filho em gestação.

.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus pelo tempo, pela saúde e pela coragem nos estudos e por concluir esta etapa final que consiste na realização e defesa deste trabalho.

Não me esqueço de nenhuma das pessoas que de muitas formas, tecnicamente, materialmente e moralmente apoiaram-me ao longo desta etapa. O número é extenso e se tentasse nomeá-los exaustivamente acabaria sempre por me esquecer de alguém, por isso nomearei apenas os mais próximos ou aqueles cujos apoios foi mais relevante.

Assim, em primeiro lugar, agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional e por sempre estarem sempre presentes nos momentos de maior necessidade.

A todos os meus familiares e amigos pela proximidade, pelas palavras de amizade e de encorajamento. Gostaria de agradecer a minha namorada, por tudo aquilo que ela tem sido na minha vida, minha companheira de todas as horas, e também agradeço ao nosso filho que traz no ventre que tem sido motivo de ânimo e alegria.

Agradeço ao meu orientador, o Eng.º Júlio César Medina, pela dedicação, pelo profissionalismo, pelos conhecimentos que me transmitiu, pelas várias revisões do texto (organização, escrita e conteúdo), enfim, por tudo aquilo que sem a sua intervenção não seria possível alcançar na realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os professores que participaram ao longo dessa jornada académica e todos os funcionários da universidade do Mindelo.

RESUMO

A escassez de água é cada vez mais, um problema atual que afeta vários setores da sociedade. Existe a necessidade de encontrar uma solução para este problema, que tem um forte impacto negativo a nível mundial. Uma das alternativas é a dessalinização, para a produção de água potável e de irrigação.

A dessalinização tem vindo a ganhar destaque ao longo dos anos, e é uma alternativa necessária no fornecimento de água potável. Esta técnica permite não só melhorar a qualidade da água como pode, em certas situações, resolver o problema da escassez que é sempre um entrave ao desenvolvimento económico e social desejável.

Existem diferentes tecnologias de dessalinização da água, todas elas enquadráveis em dois tipos de processos: processo térmico e processo de membrana. Em todas eles são necessárias grandes quantidades de energia durante o processo de dessalinização, sendo o custo da energia o grande responsável pelo custo da água produzida.

A integração de recursos energéticos renováveis nos processos de dessalinização está a tornar-se mais viável e promissora. É com esta preocupação que realizei este trabalho cujo objetivo principal é de melhorar o sistema de abastecimento de água na localidade de Calhau, em São Vicente, com um sistema de osmose inversa acionado com energia solar fotovoltaica.

A aplicação de um sistema de osmose inversa acionado com energia solar fotovoltaica, permite aumentar a viabilidade económica do sistema e pode ser uma alternativa sustentável para o funcionamento destas centrais, reduzindo assim os impactes ambientais.

Palavras Chave: Escassez de água; Dessalinização; Osmose Inversa; Energia solar fotovoltaica

ABSTRACT

Water scarcity is, increasingly, a current problem that affects various sectors of society. There is a need to find a solution to this problem, which has a strong global impact. One of the alternatives is desalination for the production of drinking water and irrigation.

Desalination has been gaining prominence over the years and is an option in the supply of drinking water. This technique not only improves the quality of water, but can also, in certain situations, solve problems of scarcity, resulting in economic and social development.

There are different water desalination technologies, all of which fit into two types of processes: thermal process and membrane process. In all of them, large amounts of energy are required during the desalination process, with the cost of energy being the main responsible for the cost of the water produced.

The integration of renewable energy resources into desalination processes is becoming more viable and promising. The main objective of this work is to improve the water supply system at the pebble location in São Vicente with a reverse osmosis system powered by photovoltaic solar energy.

The application of a reverse osmosis system driven by photovoltaic solar energy, allows increasing the economic viability of the system and can be a sustainable alternative for the operation of these plants, thus reducing environmental impacts.

Keywords: Water scarcity; Desalination; Reverse Osmosis; Photovoltaic solar energy.

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|-----|
| DEDICATÓRIA..... | iv |
| AGRADECIMENTOS | v |
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | vii |
| LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS | xv |
| CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1 Objetivo Geral | 18 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 18 |
| 1.2 Justificativa | 18 |
| 1.3 Metodologia | 19 |
| 1.4 Estrutura Do Trabalho | 19 |
| CAPITULO II: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 21 |
| 2.1 Tipos de Sistemas Solar Fotovoltaico | 21 |
| 2.1.1 Sistemas Off Grid | 21 |
| 2.1.2 Sistemas híbridos..... | 22 |
| 2.1.3 Sistemas interligados com a rede pública..... | 22 |
| 2.2 Células Fotovoltaica | 22 |
| 2.2.1 Tipos de células fotovoltaicos | 22 |
| 2.3 Módulos Fotovoltaicos | 23 |
| 2.3.1. Curva IV de um módulo FV | 23 |
| 2.3.2 Fatores que afetam a eficiência dos módulos | 24 |
| 2.3.3 Associação série e paralelo dos módulos FV | 26 |
| 2.4 Inversor | 28 |
| 2.5 Baterias | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 2.6 Controladores de carga | 28 |
| 2.7 Cabos De Ligação..... | 29 |
| 2.8 Dispositivos de seccionamento e proteção AC e DC | 30 |
| 2.9 Metodologia de Dimensionamento Sistema Fotovoltaico..... | 30 |
| 2.10 Dimensionamento dos Cabos | 32 |
| 2.11 Dimensionamento dos Dispositivos Proteção | 33 |
| CAPITULO III: DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA | 35 |
| 3.1 Situação da Água no Mundo | 35 |
| 3.2 Tipos de Água em Função da Salinidade | 36 |
| 3.3 Dessalinização | 37 |
| 3.3.1 Etapas do processo dessalinização | 38 |
| 3.3.2 Processos de Dessalinização..... | 39 |
| 3.4 Osmose Inversa | 40 |
| 3.4.1 Pré-tratamento | 43 |
| 3.4.2 Bombas de alta pressão..... | 43 |
| 3.4.3 Membrana..... | 44 |
| 3.4.4 Pós-tratamento | 44 |
| 3.4.5 Vantagens e desvantagem da OI..... | 45 |
| 3.6 Combinação FV e OI..... | 45 |
| CAPITULO IV: ESTUDO DE CASO | 47 |
| 4.1 Zona se Implementação | 47 |
| 4.2 Dimensionamento Da Unidade De Dessalinização | 48 |
| 4.2.1 Disponibilidade de água do local..... | 48 |
| 4.2.2 Parâmetros da água..... | 49 |
| 4.2.3 Dimensionamento das Membranas..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 4.2.4 Dimensionamento das bombas osmose inversa | 53 |
| 4.2.5 Viabilidade económica do sistema de dessalinização | 55 |
| 4.3 Dimensionamento Do Sistema Fotovoltaico | 56 |
| 4.3.1 Diagrama carga da instalação | 56 |
| 4.3.2 Dados meteorológicos do local | 57 |
| 4.3.3 Potência fotovoltaica requerida e inversor | 58 |
| 4.3.4 Dimensionamento dos cabos CC e AC..... | 63 |
| 4.3.5 Dimensionamento dos dispositivos de proteção..... | 64 |
| 4.3.6 Viabilidade Económica do Sistema Fotovoltaico..... | 65 |
| CAPITULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS | 69 |
| 5.1 Impacto Ambiental | 69 |
| 5.2 Conclusão | 70 |
| 5.3 Sugestões de Trabalhos Futuros | 71 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| 7. ANEXOS | 77 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Separação das fileiras entre os módulos | 31 |
| Figura 2: Distribuição da água no planeta | 35 |
| Figura 3: Fluxo de água num sistema dessalinização | 38 |
| Figura 4: Linha de tratamento simplificada de um processo de dessalinização | 39 |
| Figura 5: Osmose Inversa | 42 |
| Figura 6: - Esquemático de uma planta de dessalinização por OI..... | 42 |
| Figura 7: Secção esquemática da membrana de osmose reversa em espiral | 44 |
| Figura 8: Processo de RO com a implementação de um painel fotovoltaico | 46 |
| Figura 9: Calhau | 47 |
| Figura 10: Parâmetros entrada do projeto de dessalinização | 49 |
| Figura 11: Saturações | 50 |
| Figura 12: Principais parâmetros do projeto e número de membranas | 50 |
| Figura 13: Dimensões da membrana escolhida | 51 |
| Figura 14: Fluxograma da unidade osmose inversa | 51 |
| Figura 15: Pós tratamento..... | 53 |
| Figura 16: Dados meteorológicos do local | 58 |
| Figura 17: Inclinação dos módulos FV..... | 59 |
| Figura 18: Dados do dimensionamento do sistema FVM | 61 |
| Figura 19: Distribuição das string dos módulos FV | 62 |
| Figura 20: Cabos dimensionados no software Sunny Web Design..... | 64 |
| Figura 21: Parâmetros de entrada do projeto em Retscreen | 67 |

ÍNDICE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Curva característica de uma célula fotovoltaica..... | 24 |
| Gráfico 2: Variação da curva I-V em função da radiação solar | 25 |
| Gráfico 3: Variação da curva I-V em função da temperatura..... | 26 |
| Gráfico 4: Associação série das células FV..... | 27 |
| Gráfico 5: Associação paralela das células FV | 27 |
| Gráfico 6: Capacidade instalada por tecnologia de dessalinização | 41 |
| Gráfico 7: Curva carga da instalação..... | 57 |
| Gráfico 8: Fluxo de caixa do projeto | 68 |

ÍNDICE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Composição da água do mar..... | 37 |
| Tabela 2: Consumo de água da localidade de Calhau | 48 |
| Tabela 3: Análise do caudal e pressão em cada ponto da central de dessalinização | 52 |
| Tabela 4: Dados para dimensionar as bombas..... | 53 |
| Tabela 5: Custos direto da unidade de dessalinização..... | 55 |
| Tabela 6:: Dados do módulo FV | 59 |
| Tabela 7: Parâmetros do inversor | 61 |
| Tabela 8: Dados para dimensionar os cabos..... | 63 |
| Tabela 9: Dispositivos de proteção..... | 65 |
| Tabela 10: Custo direto do sistema FV | 65 |
| Tabela 11: Dados Financeiro de entrada | 67 |
| Tabela 12: Dados da viabilidade económica do sistema FV | 68 |

ÍNDICE QUADRO

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Classificação da água quanto à sua concentração de SDT | 36 |
| Quadro 2: Principais tecnologias de dessalinização | 40 |

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A-Ampere

AC- Corrente Alternada

CV- Compressão a Vapor

DC-Corrente Contínua

E- Energia

FV-Fotovoltaica

h- Horas

HSP-Horas de Sol Pleno

HZ- Hertz

I- Corrente

I_{MP}- Corrente máxima potência

I_{Inv}- Corrente do Inversor

Km- Quilómetros

kW- Quilowatt

KWh- Quilowatt hora

MED- destilação Multi-Efeito

MEF- Multi-Estágio Flash

MSF-Desligação Multi-Etapas

Ns- Módulos em Série

Np- Módulos em Paralelo

L- Comprimento

L_{DC}- Comprimento do Cabo DC

L_{AC}- Comprimento do Cabo AC

OI- Osmose Inversa

P- Potência

Pa- Pascal

P_{FV}- Potência Fotovoltaica

P_{MP}- Potência Máxima

ppm- partes por milhão

Q- Caudal

RTIEB- Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa tensão

S_{AC}- Secção do cabo AC

S_{DC}- Secção do Cabo DC

V-Tensão

V_{fileira}- Tensão por Fileira

V_{MP}- Tensão Na Máxima Potência

V_{oc}- Tensão De Circuito Aberto

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

A necessidade de preservação da água e o seu uso sustentável constituem elementos essenciais para a garantia da qualidade de vida do homem e são a base fundamental para o desenvolvimento social e económico de todos os povos e nações. No entanto, o crescimento da população, a poluição e o uso ineficiente da água têm limitado o seu acesso quer em quantidade, quer em qualidade (Sampaio, 2016).

De acordo com o mesmo autor, a procura de água potável está a crescer de forma constante e a sua distribuição de forma equilibrada está a tornar-se um dos maiores desafios à população mundial. Segundo a Organização Mundial de Saúde, 20% da população mundial tem acesso inadequado a água potável.

A escassez de água potável tem-se tornado paulatinamente num problema mundial. No início do século XXI, cerca de 1,2 bilhão de pessoas no mundo não tem acesso à água potável suficiente. Entre 2009 e 2050, estima-se que a população mundial aumente em 2,3 bilhões de pessoas, passando de 6,8 bilhões para 9,1 bilhões, e com os efeitos do aquecimento global, naturalmente, o problema da escassez de água potável tende-se a crescer (Bilton *et al.*, 2011).

Uma das alternativas para enfrentar o problema da escassez de água nessas regiões é a prática da dessalinização de água salobra ou salgada, visando tornar este recurso adequado ao consumo humano, para o uso industrial e para a irrigação (Pugsley *et al.*, 2016).

Existem várias tecnologias de dessalinização, entretanto a dessalinização por osmose reversa (OI), é a mais difundida e a que tem maior crescimento, ocupando cerca de 65% da capacidade instalada mundial. O processo de OI consiste em aplicar uma pressão dinâmica para vencer uma pressão osmótica sobre uma solução de sal, conhecida também como água de alimentação, através de membranas seletivas que retêm a maioria dos sais e micro-organismos e deixa passar a água com pouco sal (Greenlee *et al.*, 2009).

Em áreas densamente povoadas, plantas de dessalinização em larga escala podem ser construídas para proporcionar abastecimento adequado de água. Embora a energia para alimentar estas plantas é muitas vezes um fator limitativo. A combinação de plantas de dessalinização com fontes renováveis de energia apresenta-se como uma opção viável (Miller *et al*, 2015).

Para comunidades com menor consumo de água potável (<10 m³/dia), plantas de OI acionado via energia solar fotovoltaico é uma solução viável. Este tem reduzido impacto ambiental, e pode facilmente ser projetado e instalado para diferentes perfis de demanda, utilizando componentes modulares e com facilidade de manutenção (Greenlee *et al.*, 2009).

1.1 Objetivo Geral

- Melhorar o sistema de abastecimento de água na localidade de Calhau, São Vicente com sistema de dessalinização via osmose inversa, acionado com energia solar fotovoltaica.

1.2 Objetivos Específicos

- Estudar a energia solar fotovoltaica e a metodologia de dimensionamento;
- Identificar os processos e a constituição de uma central de dessalinização de água;
- Dimensionar a unidade de osmose inversa e o sistema fotovoltaico;
- Analisar a viabilidade económica do sistema.

1.2 Justificativa

Cabo Verde é um país insular localizado na zona do Sahel, o que faz com que o seu clima favoreça a seca, a desertificação e a escassez de água. Isso faz com que algumas zonas do país passem por grandes crises de água ou, no mínimo acesso precário à mesma.

A falta de água para a agricultura e satisfação das necessidades básicas faz com que haja uma enorme densidade de poços. Ora, a proteção natural que impede a água do mar de se infiltrar no solo e, conseqüentemente, evitar a contaminação dos lençóis freáticos, é destruída com estes poços e também com a extração da areia. De modo que vários dos poços espalhados pelo país são de água salobra, contribuindo ainda mais para a escassez de água.

A localidade de Calhau, por se localizar fora do centro da cidade, não possui água canalizada. O abastecimento de água nessa localidade é efetuado pela Câmara Municipal através de autotanques. A elaboração desse projeto, bem como a sua desejável implementação, visa contribuir para o desenvolvimento dessa localidade e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da população residente.

1.3 Metodologia

Para melhor conhecimento do tema e realização do presente trabalho, efetuou-se pesquisas bibliográficas em livros, artigos científicos e em teses que serão a base do estudo de caso do projeto a ser desenvolvido.

No estudo de caso, primeiramente será efetuado o dimensionamento do sistema de osmose inversa no software IMSDesign, e de seguida far-se-á a análise do diagrama de carga da instalação, para efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico no software Retscreen. Para realizar a análise da viabilidade económica do sistema, utilizou o software Retscreen.

1.4 Estrutura Do Trabalho

Este trabalho foi organizado em 5 capítulos.

No capítulo I, uma breve introdução, a justificativa do tema, bem como os objetivos geral e específico do presente estudo.

O capítulo II apresenta a revisão bibliográfica e a tendência atual da tecnologia de osmose reversa com energias renováveis dando enfoque a energia solar fotovoltaica, estudo em geral das tecnologias de dessalinização, a situação da água no mundo e principais etapas do processo de dessalinização via osmose inversa.

O capítulo III faz uma abordagem do sistema fotovoltaico, funcionamento de uma célula fotovoltaica, componentes e metodologia de dimensionamento do sistema fotovoltaico.

No capítulo IV é efetuada o dimensionamento da planta de osmose reversa, do sistema fotovoltaico e a sua viabilidade económica.

E, por fim, no capítulo V tecemos as considerações finais, particularmente no que toca ao impacto ambiental, e às perspectivas de trabalhos futuros.

CAPITULO II: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica. A radiação solar é convertida em corrente contínua, sendo necessário equipamento adicional quer para a conversão da corrente contínua em corrente alternada, quer ainda para a sua acumulação (baterias) caso a energia seja necessária em alturas em que a radiação solar não esteja disponível.

2.1 Tipos de Sistemas Solar Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais dependendo da sua configuração: Off Grid (Isolados), ligados à rede e híbridos.

2.1.1 Sistemas Off Grid

São geralmente utilizados em localidades onde a rede pública de energia não está disponível. É necessário dimensionar o sistema para assegurar o abastecimento de energia, durante todo o ano, por isso temos que ter em conta o número de dias de reserva de carga, para evitar que nos dias de fraca irradiação ou com um consumo superior ao normal, não haja interrupção no fornecimento de energia (Castro, 2012).

Para além dos módulos fotovoltaicos, estes sistemas são compostos por:

- i) Baterias, de modo a assegurar o abastecimento nos momentos em que a energia produzida pelo sistema é insuficiente ou não está disponível.
- ii) Regulador de carga, que tem como objetivo básico facilitar a máxima transferência de energia do sistema fotovoltaico para o banco de bateria e protegê-las contra cargas e descargas excessivas, aumentando, consequentemente a sua vida útil (GTES, 2004).
- iii) Inversor para converter a energia gerada em corrente contínua para alternada.

2.1.2 Sistemas híbridos

São sistemas que são utilizados quando for economicamente mais viável utilizar outras fontes de energia (eólica, diesel e outras fontes de energia renovável ou ainda a rede pública em locais em que não é possível ou não compensa economicamente injetar energia na rede) para complementar o recurso solar.

2.1.3 Sistemas interligados com a rede pública

Esses sistemas são diretamente ligação com a rede pública, logo nestes é necessário terem um contador de energia do tipo bidirecional (Gazoli *et al*, 2012).

Esses sistemas apresentam três grandes vantagens:

- i) terem menor custo e logo maior viabilidade;
- ii) serem mais eficientes;
- iii) serem mais simples;

Contudo esses sistemas apresentam a desvantagem do produtor ficar sem energia, quando a energia da rede falhar.

2.2 Células Fotovoltaica

As células fotovoltaicas são dispositivos que têm como função converter energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. São constituídas por um material semicondutor (o mais utilizado é o silício) ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico. O tamanho de uma célula vai desde poucos cm^2 até aos 100 cm^2 , produzindo tipicamente potências elétricas da ordem de $1,5 \text{ W}$ (correspondentes a uma tensão de $0,5 \text{ V}$ e uma corrente de 3 A) (Castro, 2012).

2.2.1 Tipos de células fotovoltaicos

Os principais tipos de células fotovoltaicas que podemos encontrar no mercado são os seguintes:

Células de silício monocristalino: são obtidas a partir de fatias de um lingote monocristalino de grandes dimensões, produzidas em fornos especiais (Gomes, 2009). Este tipo de célula é mais eficiente, do que as policristalinas, a converter intensidade solar em eletricidade (na ordem dos 15 a 18%) (Pereira e Oliveira, 2011).

Células de silício policristalino: são constituídos por um número muito elevado de pequenos cristais, da espessura de um cabelo humano. As discontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de elétrons e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. A sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade é ligeiramente menor que as células monocristalinas (na ordem dos 13 a 15%) (Gomes, 2009).

Células de silício amorfo: O silício amorfo não tem estrutura cristalina, apresentando defeitos estruturais que inicialmente impediram a sua utilização em células fotovoltaicas, uma vez que aqueles defeitos potenciam a recombinação dos pares elétron-lacuna (Castro, 2012).

As células de silício amorfo são obtidas por meio de deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. A sua eficiência na conversão da luz em eletricidade varia entre 5 a 7% (Pereira e Oliveira, 2011).

2.3 Módulos Fotovoltaicos

A potência máxima de uma célula fotovoltaica típica não excede 2W, o que é claramente insuficiente para a maioria das aplicações. Por este motivo as células são agrupadas em série e em paralelo formando módulos (Castro, 2009).

2.3.1. Curva IV de um módulo FV

As características de saída de um módulo fotovoltaico são dadas pela curva característica I-V que mostra a relação entre a tensão e a corrente (SEI, 2009). A Gráfico 1 mostra a curva I-V de uma célula fotovoltaica. A tensão é traçada ao longo do eixo horizontal e a corrente é traçado ao longo do eixo vertical.

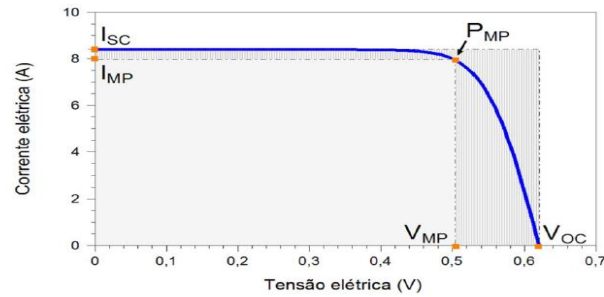


Gráfico 1: Curva característica de uma célula fotovoltaica

Fonte: Pinho e Galdino, 2014

Ao analisar a curva I-V pode-se verificar a presença de três pontos importantes (SEI, 2009):

- i) Ponto de máxima potência (V_{mp} , I_{mp}) é o ponto em que para as condições STC (Temperatura, $T = 25^{\circ}\text{C}$; Radiação incidente, $G_r = 1000\text{W/m}^2$; $AM=1.5$) o módulo fotovoltaico produz a potência máxima.
- ii) Tensão de circuito aberto (V_{oc}) é a tensão máxima que se consegue de um módulo quando este não alimenta nenhuma carga.
- iii) Corrente de curto-circuito (I_{cc}): É a corrente máxima de saída que pode ser alcançado por um módulo sob as condições de um curto-circuito.

2.3.2 Fatores que afetam a eficiência dos módulos

De acordo com o mesmo autor citado acima, os principais fatores que afetam o desempenho dos módulos fotovoltaicos são:

- i. Material das células;
- ii. Radiação incidente;
- iii. Temperatura da célula;
- iv. Sombreamentos.

2.3.2.1 Radiação solar incidente

A corrente de saída do módulo é proporcional à intensidade da radiação solar incidente a que se encontra exposta. Através do Gráfico 2, pode-se constatar que a potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente, a corrente de curto-circuito aumenta de forma aproximadamente linear com o aumento da radiação incidente, ao passo que a tensão de circuito aberto pouco varia, diminuindo ligeiramente, com a variação da radiação incidente (Freitas, 2008).

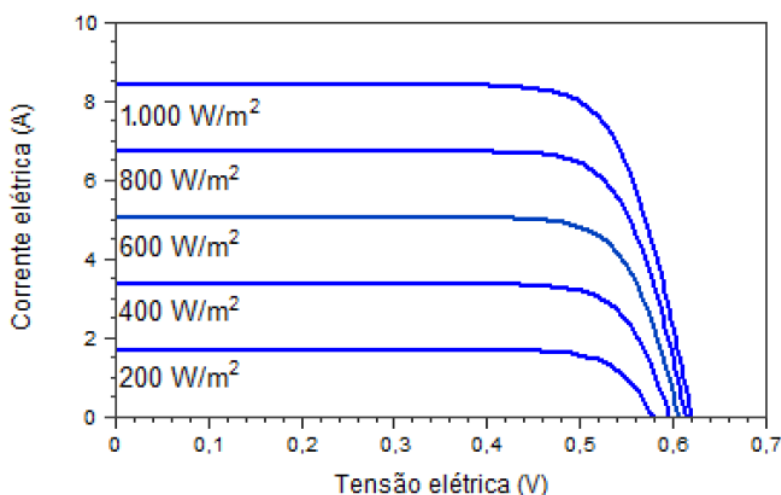


Gráfico 2: Variação da curva I-V em função da radiação solar

Fonte: Pinho e Galdino, 2014

2.3.2.2 Temperatura da célula

À medida que a temperatura da célula aumenta para valores acima do valor padrão de funcionamento, $25^{\circ}C$, a eficiência do módulo diminui relativamente ao seu valor de referência. O Gráfico 3 mostra que quando a temperatura da célula aumenta, a corrente de máxima potência aumenta ligeiramente, mas a tensão de máxima potência diminui mais, diminuindo a potência de saída do módulo (Pinho e Galdino, 2014).

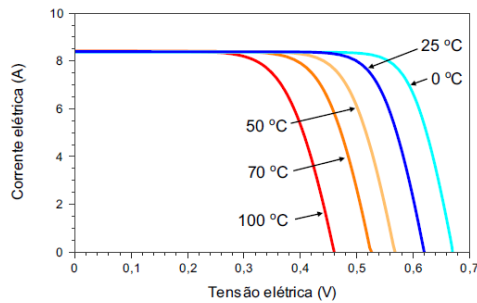


Gráfico 3: Variação da curva I-V em função da temperatura

Fonte: Pinho e Galdino, 2014

2.3.2.3 Sombreamento

Um dos inconvenientes nos projetos de sistemas fotovoltaicos é o sombreamento a que podem ser expostas as células fotovoltaicas, resultando numa redução da potência de saída dos módulos.

Por este motivo é de extrema importância escolher um local adequado para a instalação dos painéis fotovoltaicos, de forma a minimizar os sombreamentos e otimizar o rendimento dos sistemas. A influência dos sombreamentos é variável, dependendo do material das células, sendo que as células de película fina (silício amorfo) apresentam uma menor sensibilidade, do que as células de silício cristalino, em que a redução de potência pode ser drástica (Morais, 2009).

Atualmente, a maioria dos fabricantes de painéis de silício cristalino, usam díodos de derivação, passo ou *bypass*, no módulo, para reduzir os efeitos de sombreamento, permitindo assim ignorar as células sombreadas (SEI, 2009).

2.3.3 Associação série e paralelo dos módulos FV

Dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou paralelo, de forma a obter corrente e tensão desejados. Na conexão em série, o terminal positivo de um dispositivo é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo, e assim, por diante. Para dispositivos

idênticos e submetidos à mesma radiação solar, quando a ligação é em série, as tensões são somadas e a corrente elétrica não é afetada (Gráfico 4).

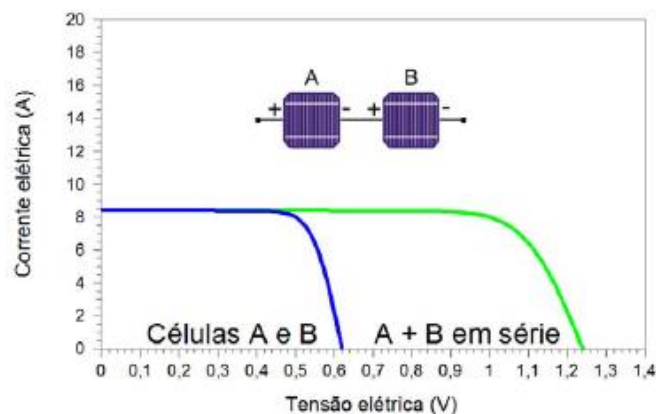


Gráfico 4: Associação série das células FV

Fonte: Pinho e Galdino, 2014

Na associação em paralelo (Gráfico 5), os terminais positivos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. As correntes elétricas são somadas, e a tensão permanece inalterada (Pinho e Galdino, 2014).

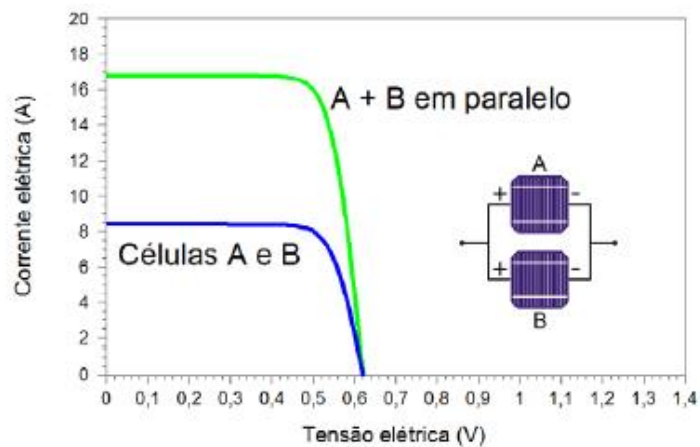


Gráfico 5: Associação paralela das células FV

Fonte: Pinho e Galdino, 2014

2.4 Inversor

O inversor solar tem como função principal converter tensões elétricas DC do sistema fotovoltaico, ou da bateria, em tensões elétricas AC, com a frequência e o nível de tensão adequados ao sistema, ou carga, a que está ligado. Podemos considerar dois tipos básicos de inversores: ligados à rede (inversores de rede) e autônomos (Greenpro, 2004). Dentre os vários recursos e funções dos inversores, dois merecem destaque, as entradas MPPT e a detecção de *anti-islanding*.

Inversores são basicamente compostos por dispositivos eletrônicos de chaveamento, tais como TRIACs, MOSFETs e IGBTs que tem como função quebrar a corrente contínua em pulsos, gerando uma corrente alternada (Costa, 2010).

2.5 Baterias

As baterias, são mais utilizadas nos sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, ou seja, *off grid*. Segundo Dazcal e Mello (2008), são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados.

Segundo Copetti e Macagnan (2007), “a bateria para aplicações FV deve apresentar como principais características: alta eficiência energética, longa vida útil, pouca manutenção e baixo custo.

2.6 Controladores de carga

O controlador deve desligar a carga quando a bateria alcança o seu nível mínimo especificado de descarga e, desconectar o arranjo fotovoltaico quando a bateria atinge o nível máximo permitido de carregamento. Quando, para atender as necessidades de carga é necessária a instalação de uma certa quantidade de baterias ligadas em série e paralelo, o processo de

controle se torna bastante desafiador. O controlador deve ser ajustado para manter um bom desempenho das baterias sob regime de carga e descarga e temperatura diversas (Luque e Hegedus, 2003). O controlador de carga possui as seguintes funções:

- Interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atinge um nível mínimo de segurança;
- Monitorar o desempenho do Sistema Fotovoltaico (corrente e tensão de carregamento da bateria);
- Acionam alarmes quando ocorre algum problema.

2.7 Cabos De Ligação

Dentro de um sistema fotovoltaico podemos encontrar os seguintes tipos de cabos:

a) Cabos DC

Nos sistemas fotovoltaicos são utilizados preferencialmente cabos monocondutores com isolamento duplo, oferecendo uma elevada segurança. Os cabos são fornecidos frequentemente nas cores vermelha e preta, por forma a permitir uma maior compreensão do desenho da instalação (Pinho e Galdino, 2014).

- Cabo de fileira: Designam-se por cabos de fileira, os condutores que estabelecem a ligação elétrica entre os módulos de um sistema fotovoltaico e a caixa de junção (Freitas, 2008).
- Cabo principal DC: O cabo principal DC estabelece a ligação entre a caixa de junção do sistema e o inversor (nos sistemas ligados à rede), e/ou a ligação entre a caixa de junção e o regulador de carga (nos sistemas com bateria).
- Cabos de ligação AC: Para a ligação entre o inversor e a rede recetora ou as cargas AC, são utilizados cabos normalizados para instalações elétricas T (IEET, 2006).

b) Cabos AC

Estabelece a ligação entre o inversor e a rede elétrica.

2.8 Dispositivos de seccionamento e proteção AC e DC

a) Dispositivos de corte DC

Este dispositivo é utilizado para isolar o inversor do sistema fotovoltaico na eventualidade de ocorrência de falhas ou para a condução de trabalhos de manutenção e de reparação do sistema. Este dispositivo deve ter poder de corte suficiente para permitir a abertura do circuito DC em boas condições de segurança (Greenpro, 2004).

b) Fusíveis de fileira

Os fusíveis de fileira têm como finalidade a proteção dos módulos e dos cabos das contra sobrecargas (Silva, 2016).

c) Disjuntores AC

São aparelhos de proteção contra sobreintensidades, que podem voltar a ser rearmados depois de dispararem. São frequentemente utilizados como interruptores AC para isolar o sistema fotovoltaico da rede elétrica (Greenpro, 2004).

2.9 Metodologia de Dimensionamento Sistema Fotovoltaico

O primeiro procedimento consiste em efetuar uma visita ao local, para escolher a área mais apropriada para a instalação do sistema fotovoltaico. Deve elaborar-se uma ficha de registo de dados relativos às especificações do sistema: valores de irradiação e temperatura do local; orientação, inclinação, área disponível, fenómenos de sombreamento, comprimento dos cabos (Carneiro, 2009).

Tendo como base a demanda energética do local deve-se proceder com o cálculo da potência fotovoltaica, dada pela seguinte equação:

$$P_{FV} = \frac{E(KWh/dia)}{HSP} \quad (1)$$

Sendo: P_{FV} - Potencia Fotovoltaica

$E(\text{KWh}/\text{dia})$ - Energia diária

HSP- Horas de sol Pleno

De seguida deve-se proceder à escolha dos módulos, em que o número de módulos é dada pela razão entre a potência FV e a potência do módulo escolhido.

Para evitar que a central fotovoltaica tenha grandes quedas de rendimento, deve levar-se em conta a distância mínima de segurança entre as fileiras, como se pode observar na Figura 6.

O ângulo β , corresponde à altura mínima do sol, determina o afastamento máximo entre fileiras de modo a evitar o sombreamento entre elas, sendo α à inclinação dos painéis, e d o afastamento entre fileiras (Silva, 2016) (Figura 1).

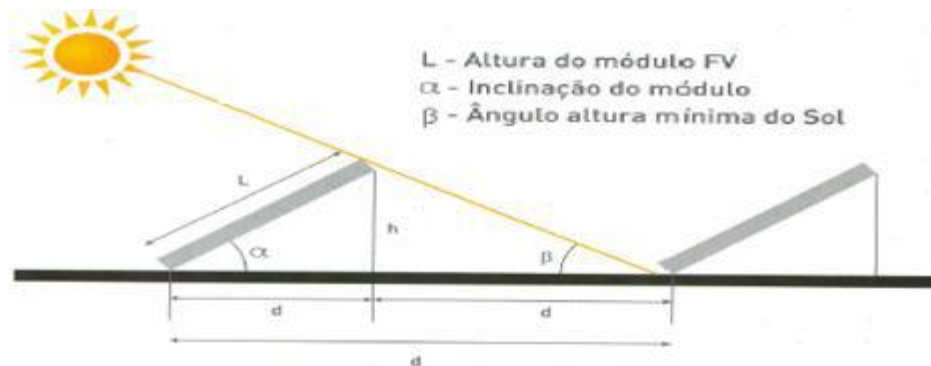


Figura 1: Separação das fileiras entre os módulos

Fonte: Silva, 2016

$$d = L \times \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (2)$$

A potência escolhida para inversor deve estar relacionada em relação a potência do gerador fotovoltaico, admitindo uma variação de 20% (IST-GREENPRO, 2004).

(3)

$$0,7 \times P_{FV} < P_{inv} < 1,2 \times P_{FV}$$

O valor da tensão de trabalho do inversor resulta do somatório das tensões individuais dos módulos que estão ligados em série numa fileira. O número máximo de módulos que é possível ligar em série, N_s é obtido através da seguinte equação (Carneiro, 2009):

$$N_s = \frac{V_{INV}}{V_{OC}} \quad (4)$$

O número máximo de fileiras ligadas em paralelo, resulta do quociente entre a corrente de entrada para o inversor e a corrente que atravessa cada fileira de módulos:

$$N_p = \frac{i_{Inv}}{I_{Max}} \quad (5)$$

2.10 Dimensionamento dos Cabos

Adotando a norma Alemã IEC 60364-7-712, sugere-se que o cabo principal DC seja dimensionado para 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do gerador sob condições padrão (Noark, 2013).

A secção transversal do cabo pode então ser otimizada, assumindo-se uma perda máxima de potência na linha de 1%, sendo esta dada pela equação abaixo:

$$S_{DC} = \frac{2 \times L_{DC} \times I_{Corte}}{1\% V_{Fileira} \times \sigma} \quad (6)$$

Onde:

S_{DC} é a secção do cabo DC

L_{DC} é o comprimento do cabo DC

$V_{fileira}$ é a tensão admitida na fileira

σ é a condutividade elétrica do condutor (34 m/ Ω .mm² para o alumínio, e 56 m/ Ω .mm² para o cobre).

O cabo de ligação de corrente alternada liga o inversor à rede recetora, através do equipamento de proteção. As equações que permitem calcular as secções dos cabos AC, tanto para o caso de uma rede elétrica monofásico como para o de uma rede trifásica são dadas pelas equações abaixo (Silva, 2016).

$$S_{AC} = \frac{2 \times L_{AC} \times I_{AC} \times \cos \varphi}{3\%V_{AC} \times \sigma} \quad (7)$$

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} \times L_{AC} \times I_{AC} \times \cos \varphi}{3\%V_{AC} \times \sigma} \quad (8)$$

V_{AC} - é a tensão simples (220V) ou tensão composta (400 V)

$\cos \varphi$ é o fator de potência do inversor

2.11 Dimensionamento dos Dispositivos Proteção

A norma Europeia IEC 60364-7-712 exige um interruptor de corte geral (interruptor DC) DC entre o sistema fotovoltaico e o inversor, para ser utilizado como dispositivo de corte de energia elétrica, facilitando trabalhos de manutenção e operação (Schneider Electric, 2012).

O interruptor deve ser bipolar e possuir poder de corte adequado para que a sua abertura seja efetuada com segurança.

$$I_{DC} = 1,25 \times I_{FV} \quad (8)$$

Com base nas R.T.I.E.B.T, o aparelho de proteção contra sobrecargas deverá satisfazer simultaneamente as seguintes condições:

(9)

$$I_{INV} < I_N < I$$

Em que I (corrente admissível no cabo em Amperes) é dada pela Equação:

$$I = A \times S^m \quad (10)$$

S é secção nominal do condutor em mm², A e m é um coeficiente que depende do cabo e do método de instalação.

CAPITULO III: DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

A separação do sal da água é um processo muito antigo, quando o sal era um bem precioso. No entanto, as populações cresceram e a procura por água doce aumentou, o que levou ao desenvolvimento de tecnologias para produção de água doce em locais remotos e na navegação de longo curso (Gaio, 2016).

De acordo com o mesmo autor, a dessalinização é um processo físico-químico usado para obter água doce através da remoção dos sais nela dissolvida. É um processo natural, contínuo e é uma parte essencial do ciclo da água.

3.1 Situação da Água no Mundo

O planeta é coberto por 70 % de água, dos quais 97,5 % se encontra nos oceanos e mares, sendo imprópria para o uso e consumo humano e animal, devido ao elevado teor de sais. Apenas 2,5 % correspondem a água doce, e só uma percentagem mínima está disponível para a utilização nas diversas atividades. Isto, porque 68,9 % dessa água doce encontra-se na forma de glaciares e a restante apresenta-se no estado líquido. A água doce no estado líquido está distribuída da seguinte forma: 29,9 % correspondem a água subterrânea, 0,9 % à humidade do solo e pântanos e 0,3 % presentes em rios e lagos. Na Figura 2 encontra-se representado a distribuição de água no planeta (Clayton, 2006).

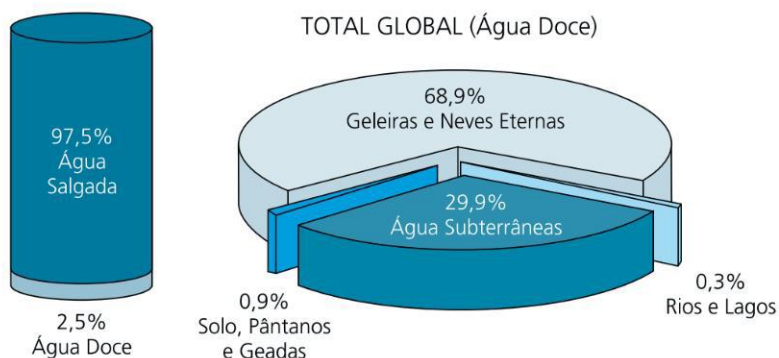


Figura 2: Distribuição da água no planeta

Fonte: Clayton, 2006

A água potável é um recurso cada vez mais escasso. O aumento da população, dos impactos ambientais e mudanças climáticas estão a reduzir a disponibilidade de água por habitante, sendo a situação especialmente crítica nos países em desenvolvimento da África do Norte e Médio Oriente.

As Nações Unidas avaliaram que 1100 milhões de pessoas não têm acesso seguro à água potável. Além disso, o futuro é ainda mais crítico: no ano 2025, 1800 milhões de pessoas viverão em regiões com escassez absoluta de água.

3.2 Tipos de Água em Função da Salinidade

A água doce tem uma salinidade inferior a 1000 mg/l, a água salobra tem uma salinidade entre a água doce e a água salgada e a salinidade da água salgada situa-se entre os 35.000 mg/l e os 50.000 mg/l. A água com salinidade superior à água do mar é designada como salmoura. A salinidade presente em mais de 97 % da água do mar oscila entre os 33 e os 37 g/l de SDT. Segundo a OMS, concentrações de SDT em águas inferiores a 1 g/l, já são considerados valores aceitáveis. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América considera que água com valores de SDT acima de 0,5 g/l pode ser considerada desagradável (Sandia, 2003).

| Água | Concentração de SDT (mg/l) |
|------------------------------------|----------------------------|
| Água doce | <1000 |
| Baixa salinidade de Água Salobra | 1 000-5 000 |
| Elevada salinidade de Água Salobra | 5000-15000 |
| Água Salgada | 35 000- 50 000 |

Quadro 1: Classificação da água quanto à sua concentração de SDT

Fonte: Sandia, 2003

Muitos países adotaram padrões nacionais de água potável para contaminantes específicos, bem como para STD, assim os limites padrões podem variar de país para país, região para

região e dentro do mesmo país. Por exemplo, a Organização Mundial de Saúde (Who, 1970) tem um limite máximo para água de potável de 250 mg/L de STD.

Ainda que a salinidade da água do mar varie dependendo da região concreta do mundo, a composição percentual da água do mar é basicamente constante em todo o universo (quer dizer, as proporções dos componentes principais são constantes).

| lão químico | Concentração ppm, mg/kg | Percentage m em salinidade % | mmol/ kg |
|--|----------------------------|---------------------------------------|-------------|
| Cloreto Cl ⁻ | 19.345 | 55,03 | 546 |
| Sódio Na ⁺ | 10.752 | 30,59 | 468 |
| Sulfato SO ₄ ²⁻ | 2.701 | 7,68 | 28,1 |
| Magnésio Mg ²⁺ | 1.295 | 3,68 | 53,3 |
| Cálcio Ca ²⁺ | 416 | 1,18 | 10,4 |
| Potássio K ⁺ | 390 | 1,11 | 9,97 |
| Bicarbonato HCO ₃ ⁻ | 145 | 0,41 | 2,34 |
| Bromuro Br ⁻ | 66 | 0,19 | 0,83 |
| Borato BO ₃ ³⁻ | 27 | 0,08 | 0,46 |
| Estroncio Sr ²⁺ | 13 | 0,04 | 0,091 |
| Flúor F ⁻ | 1 | 0,003 | 0,068 |
| TOTAL | 35.151 | | |

Tabela 1: Composição da água do mar

Fonte: Instituto Tecnológico de Canárias

3.3 Dessalinização

A dessalinização tem aumentando a sua participação no cenário mundial de abastecimento de água, especialmente nos últimos anos. A maior parte da capacidade de dessalinização encontra-se no Médio Oriente, por ser uma das zonas do mundo com maior escassez de água doce. Estes países estão a utilizar as suas grandes reservas de petróleo, para produzir o calor necessário para a dessalinização de água mediante processos de Destilação Súbita Multietapas (MSF) ou a Destilação Multi-Efeito (MED) (Gaio, 2016).

A capacidade de destilação total instalada aumentou exponencialmente desde o início desta tecnologia (60 anos). Segundo o último inventário da IDA, a capacidade de dessalinização total mundial nos finais de 2009 era de aproximadamente 60 milhões de metros cúbicos diários.

A dessalinização é um processo de separação que consiste em eliminar os sais dissolvidos na água. Para tal, existem três fluxos principais (Greenlee *et al.* 2009) (Figura 3):

- Água de alimentação (salgada),
- Água produto,
- Água descartada (fluxo muito concentrado em sais).

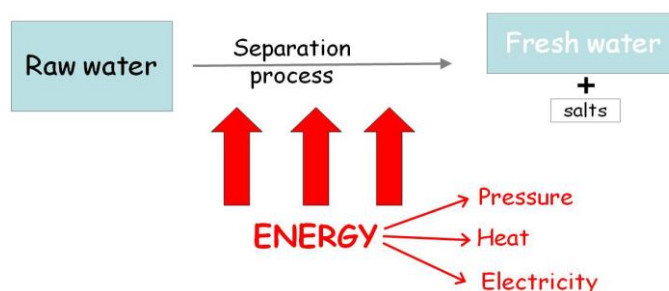


Figura 3: Fluxo de água num sistema de dessalinização

Fonte: Adaptado de Greenlee *et al.* 2009

3.3.1 Etapas do processo de dessalinização

De forma simplificada, a dessalinização da água é dividida em quatro fases (Figura 4) (Clayton, 2006):

- Fase 1: extrair a água salina ou salobra da fonte e introduzi-la no sistema.
- Fase 2: Pré-tratamento da água: nesta fase há a remoção de sólidos e um controlo do crescimento biológico inerentes ao processo de captação de água.
- Fase 3: O processo de dessalinização, durante o qual se procede à remoção dos sólidos dissolvidos, incluindo sais e outras impurezas da água. Nestas duas fases obtém-se o excedente, o concentrado de sais e outros resíduos, e como tal é necessário fazer a sua gestão. Essa gestão pode incluir a deposição e/ou reutilização desses subprodutos.

- Fase 4: Por fim é necessário um pós-tratamento. Com o processo de dessalinização o nível de alcalinidade da água diminui, o que pode causar corrosões. Assim, para prevenir a corrosão das tubagens a jusante, deve-se ajustar a alcalinidade e o pH, repondo também as propriedades da água necessárias ao consumo humano retiradas pelo processo de dessalinização.



Figura 4: Linha de tratamento simplificada de um processo de dessalinização

Fonte: Water Authority, 2014

3.3.2 Processos de Dessalinização

A quantidade de energia requerida dependerá principalmente da qualidade de sais (salinidade) da água bruta de alimentação. Os processos de dessalinização podem classificar-se segundo o tipo de energia requerida (Sampaio, 2016):

- Energia térmica,
- Energia elétrica,
- Energia mecânica.

O processo térmico de obtenção de água doce a partir de água salgada é assegurado por métodos de destilação. Os principais métodos são: destilação solar, Destilação Multi-Efeito (DME), destilação Multi-Estágio *Flash* (MEF) e Compressão de Vapor (CV) (Younos e Tolou, 2005).

Nos processos de separação por membranas temos a Osmose Reversa (OR) e a Eletro-Diálise (ED) como mecanismos de maior relevância para a dessalinização de águas salinas e salobras. No processo de OI a separação dos componentes da água ocorre em função de um gradiente de pressão sobre uma membrana semipermeável, já na eletrodiálise o processo de separação dos sais dissolvidos presentes na água acontece pela aplicação de uma força eletromotriz nos elétrodos. Nos processos de dessalinização por membranas não apresentam mudança de fase (Mendonça, 2016).

O resumo das principais tecnologias de dessalinização é apresentado no Quadro 2:

| Tecnologia Térmica | Tecnologia de Membranas |
|---|--------------------------------|
| Destilação por Compressão de Vapor (CV) | Osmose Inversa (OI) |
| Destilação Múltiplo Efeito (DME) | |
| Multi Estágio Flash (MEF) | Eletrodiálise (ED) |
| Congelamento | |

Quadro 2: Principais tecnologias de dessalinização

Fonte: Adaptado Sampaio, 2016

3.4 Osmose Inversa

A OI é um processo industrial relativamente recente. A sua comercialização para grandes caudais começou nos anos 70. Nos últimos 20 anos teve um importante crescimento, substituindo inclusive as tecnologias de destilação mais vulgarizadas. Este crescimento deve-se principalmente à invenção de novas membranas, e ao desenvolvimento de novos equipamentos para reduzir o consumo de energia. As novas membranas trabalham a uma pressão menor, produzindo maiores volumes de água com melhor qualidade. As primeiras centrais foram instaladas para dessalinizar águas salobras (a baixa pressão). Atualmente, a OI é a tecnologia mais usada (Guerreiro, 2009) (Gráfico 6).

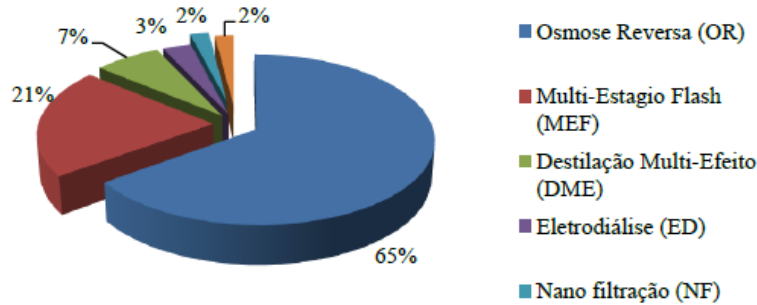


Gráfico 6: Capacidade instalada por tecnologia de dessalinização

Fonte: Adaptado de Burn *et al.* 2015

A osmose é um fenómeno natural que acontece quando pomos em contato duas soluções com diferente salinidade, separadas por uma membrana semipermeável. Neste caso, a solução de menor salinidade tende naturalmente a passar através da membrana, para a solução maior salinidade, até que atinja o equilíbrio, ficando ambas as soluções com mesma salinidade (Karaghoulis, 2009).

Este equilíbrio atinge-se só quando a diferença de pressão através da membrana (ver diferença de nível na figura central) alcança o valor Π de pressão osmótica. Se, contrariamente, sobre a solução mais salina aplicarmos uma pressão externa superior à pressão osmótica, o fluxo de água livre de sais tende a inverter-se e dirige-se para a solução menos salina (fenómeno conhecido como OI). Como Π depende diretamente da concentração de sais do fluido a tratar, a pressão necessária na OI aumenta consideravelmente no caso da água do mar.

O processo de OI consiste na separação de sais presentes na água através de um efeito de pressão superior à pressão osmótica, sobre uma membrana semipermeável. A água desloca-se do meio mais concentrado (hipertónico) para o meio menos concentrado (hipotónico). Este fluxo termina quando as duas soluções separadas pela membrana atingem o equilíbrio, ficando com a mesma concentração, Figura abaixo (Pinho, 2009) (Figura 5).

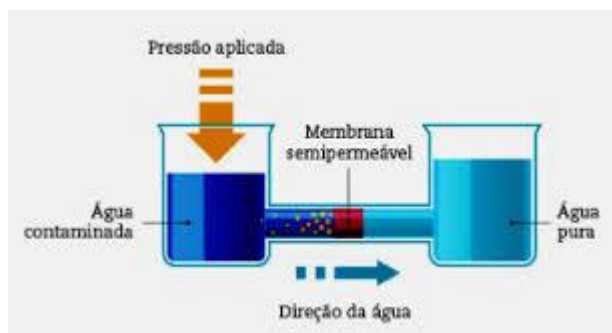


Figura 5: Osmose Inversa

Fonte: www.todamateria.com.br

No caso de água do mar (salinidades á volta dos 35.000 ppm), a pressão osmótica no ponto de equilíbrio é de aproximadamente de 28 bar. Se quisermos produzir água livre de sais, devemos aplicar uma pressão suficientemente alta para obter caudais estáveis e consideráveis. Por esse motiva, costuma-se tratar a água do mar a pressões iguais ou superiores aos 60 bar (Greenlee, 2009).

Os componentes principais de uma central OI são (Sampaio, 2006) (Figura 6):

- Pré-tratamento da água de alimentação
- Bombagem de alta pressão
- Membranas
- Pós-tratamento

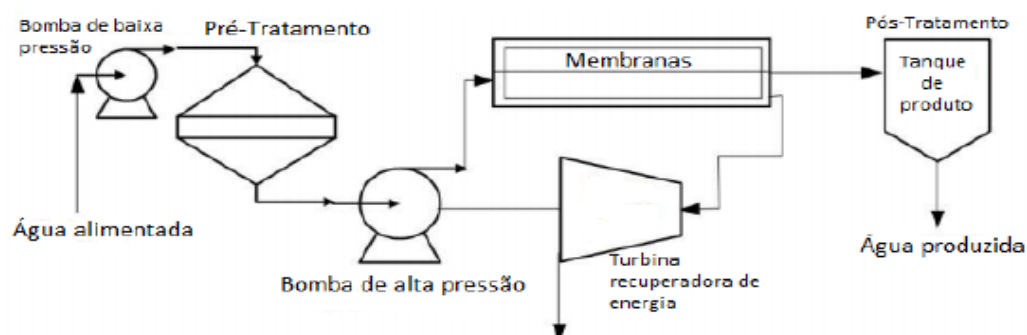


Figura 6: - Esquemático de uma planta de dessalinização por OI

Fonte: Oliveira, 2011

3.4.1 Pré-tratamento

Os principais parâmetros da água de alimentação a controlar, antes de entrar em contato com as membranas, são (Henthorne e Boysen, 2015):

- Dureza (para controlar as incrustações ou «scaling»).
- Turbidez (para evitar sujidades).
- Presença de substâncias orgânicas (para evitar o bio-fouling).
- Temperatura da água (altera a produção).
- pH da água (as membranas são sensíveis a este parâmetro).

Em geral, a melhor forma de avaliar a presença de sólidos em suspensão na água de alimentação, é medir o SDI (Silt Density Index).

O mais comum dos pré-tratamentos é a filtração com areia e cartuchos. Nos últimos anos, e em grandes instalações, utilizam-se a micro filtração e a ultra filtração. São processos um pouco mais caros, mas são mais seguros, e garantem uma melhor qualidade da água a tratar.

3.4.2 Bombas de alta pressão

A bomba de alta pressão é componente do sistema que gera a pressão necessária para as membranas produzirem uma vazão de água requerida com certa qualidade. A escolha do conjunto motobomba depende da finalidade do sistema, potência requerida para atingir a altura manométrica desejada, volume de água e capacidade financeira. Em sistemas de dessalinização são necessárias bombas de alta pressão, a fim de se vencer a pressão osmótica característica da solução, necessárias aos processos de OI (Pinho e Galdino, 2014).

Para a dessalinização da água salobra as pressões de operação variam entre 15 a 30 bar, e para a dessalinização da água do mar as pressões variam entre 55 a 70 bar. Como a água doce atravessa a membrana, a água de alimentação vai ficando mais concentrada. Para não haver incrustações existe um limite para a quantidade de água fresca que pode ser obtida a partir da água de alimentação. Para água marinha, a percentagem de recuperação varia entre os

25% e os 45%, nas águas salobras a taxa de recuperação é mais alta podendo atingir os 90% (Bourouni, 2012).

Como o resíduo sai quase á mesma pressão que a água de alimentação, um dos principais avanços tecnológicos foi criar equipamentos capazes de aproveitar essa energia sob a forma de pressão. A esses equipamentos, usados exclusivamente para salmouras de água do mar, chamam-se recuperadores de energia. Os primeiros equipamentos usados foram as turbinas (Francis, Pelton) movidas pela salmoura e unidas por um eixo à bomba de alta pressão. Recentemente utilizam-se equipamentos mais eficientes chamados «permutadores de pressão» (Gaio, 2016).

3.4.3 Membrana

O elemento central da OI chama-se membrana. A água com sais entra na membrana a alta pressão e é separada em duas correntes: permeado (ou produto) e concentrado (ou salmoura). Uma membrana, (as mais usadas são construídas em espiral), consiste em diferentes películas ou folhas (de acetato de celulose ou poliamida) enroladas em forma de cilindro em torno de um tubo rígido, no qual se recolhe o permeado (Riffel, 2005) (Figura 7).

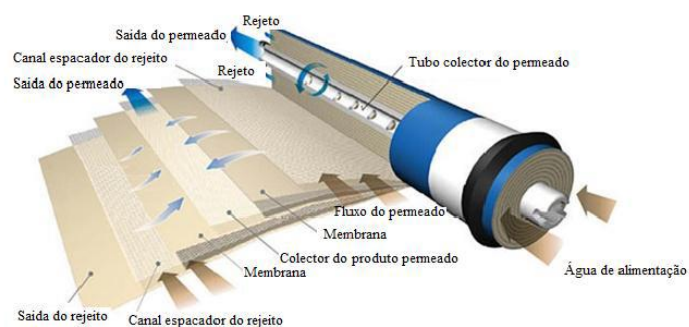


Figura 7: Secção esquemática da membrana de osmose reversa em espiral

Fonte: Adaptado de Mendonça, 2016

3.4.4 Pós-tratamento

Antes do armazenamento e distribuição da água dessalinizada, esta deve sofrer um processo

de pós-tratamento. Esta última etapa de tratamento da água consiste numa estabilização da água, tornando-a compatível com o sistema de distribuição (Sampaio, 2006).

O processo de dessalinização reduz o nível de alcalinidade da água, podendo causar a corrosão nos sistemas de distribuição de água, devendo-se, para tal, proceder a um ajustamento final no pH e da alcalinidade. Nesta fase é ainda fundamental recorrer a uma desinfecção da água de forma a eliminar micro-organismos no sentido de assegurar que a água se encontra pronta para consumo humano.

3.4.5 Vantagens e desvantagem da OI

As principais vantagens desta tecnologia são (Soares, 2006):

- Baixo investimento inicial.
- Apenas se necessita energia elétrica para bombagem.
- Alta modularidade.
- Baixo impacto ambiental (descarga de salmouras).
- Consumos energéticos relativamente baixos.

As principais desvantagens são (Soares, 2006):

- Necessidade de água de alimentação limpa (livre de sujidade)
- As membranas são sensíveis às incrustações e á sujidade (fouling e scaling).

3.6 Combinação FV e OI

A dessalinização por osmose inversa realizada com energia solar fotovoltaica é, hoje em dia, uma das associações mais prometedoras de dessalinização e energias renováveis. Existem duas combinações possíveis:

- Central FV-OI sem ligação à rede elétrica.
- Central FV-OI ligadas à rede elétrica.

As centrais desligadas da rede necessitam de uma tecnologia que adapte o funcionamento da central, à fonte de energia variável. Os maiores inconvenientes dos sistemas isolados, são os

possíveis efeitos negativos na operação e na durabilidade das membranas, que funcionam com uma fonte intermitente de energia: fenômenos associados aos ciclos de “arranque/paragem”, e à operação com carga parcial (Shatat *et al*, 2013).

A Figura 8 apresenta um esquema de um sistema de dessalinização de osmose inversa com painéis fotovoltaicos.

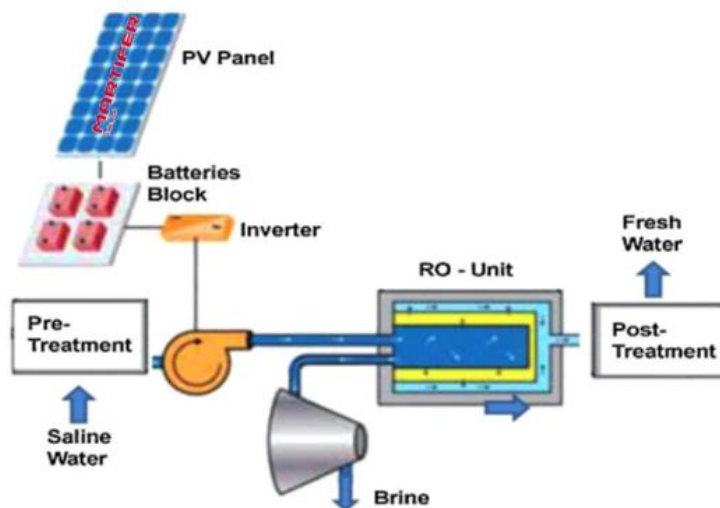


Figura 8: Processo de RO com a implementação de um painel fotovoltaico

Fonte: Shatat *et al*, 2013

CAPITULO IV: ESTUDO DE CASO

4.1 Zona de Implementação

O projeto será instalado na região de Calhau em São Vicente. O Calhau é uma pequena aldeia piscatória na costa leste da ilha de São Vicente, a 15 km da cidade do Mindelo, capital da ilha. Pertence à zona de Ribeira de Calhau, da freguesia de Nossa Senhora da Luz, concelho de São Vicente, nos paralelos de 16,853177 de latitude e longitude de -24,86721 (Figura 9).

Calhau tem uma praia para banhos de mar e um pequeno porto de pesca na baía homónima. Em dias de visibilidade consegue ver-se dali a ilha desabitada de Santa Luzia. A comunidade tem uma população de 428 pessoas de acordo com o censo 2010 realizado pelo INE. Foi assumido um consumo de 35 litros de água por pessoa a cada dia.

Por se tratar de uma área isolada, a população não possui água canalizada em suas habitações. Para satisfazer as suas necessidades recorrem à água dos poços e à água dessalinizada que é distribuída pela Câmara Municipal de São Vicente.

Como forma de resolver este problema, o seguinte projeto tem por objetivo principal a produção de água dessalinizada pela tecnologia osmose inversa acionada com energia Solar Fotovoltaica, para suprir as necessidades da população.



Figura 9: Calhau

Fonte: Google Earth

4.2 Dimensionamento Da Unidade De Dessalinização

Para efetuar o dimensionamento da unidade de dessalinização seguiu a seguinte metodologia:

- Calcular a disponibilidade de água requerida para o local;
- Definir os parâmetros da água dessalinizada;
- Calcular o número de membranas;
- Dimensionamento das bombas.

O dimensionamento das membranas foi realizado no *software* IMSDesign (*Integrated Membrane Solutions Design*), é a versão mais recente do software de projeção de membrana para a osmose inversa. É uma ferramenta de dimensionamento avançada que atende às necessidades mais exigentes dos profissionais de membranas. O IMSDesign oferece aos usuários controlo total sobre as informações usadas no processo de seleção de membranas.

4.2.1 Disponibilidade de água do local

Na tabela abaixo mostra os dados referentes a disponibilidade de água do local de implantação do projeto:

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--------------------|
| DADOS LOCAIS | Número de pessoas | 514 |
| | Procura de água per capita | 35 litros/dia |
| | Localização | Calhau-São Vicente |
| Procura lo total Água | 17 990 | litros/dia |
| Caudal de produto pretendido | 2,25 | m3 / h |
| Capacidade nominal | 53,97 | m3 / h |
| Caudal de alimentação | 5,62 | m3 / h |

Tabela 2: Consumo de água da localidade de calhau

Fonte: Própria

4.2.2 Parâmetros da água

Numa primeira fase do dimensionamento membranas, deve-se adicionar as principais características da água a ser utilizada. Neste projeto, como a zona fica ao pé do mar, foi utilizada água do mar que apresenta os seguintes parâmetros:

- PH: 7,5
- Temperatura: 27 C
- Condutibilidade da água: 44 105,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

No software IMSDegin fez-se a inserção dos principais constituintes químicos que entra na constituição da água a ser dessalinizada, sendo que na figura abaixo é apresentado a quantidade de catião e anião (Figura 10).

Projeto: Dessalinização_Calhau Calculado por: Alessandro Temperatura: 27.0 °C

pH: 7.50 CO3: 0.960 mg/l CO2: 3.960 mg/l Condutividade E: 44105.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$

| Cátions | | |
|--------------|---------|------------|
| | mg/l | mg/l CaCO3 |
| Ca | 375.00 | 937.50 |
| Mg | 1025.00 | 4200.82 |
| Na | 8762.00 | 19047.83 |
| K | 250.00 | 319.71 |
| NH4 | 0.02 | 0.06 |
| Ba | 0.000 | 0.00 |
| Sr | 12.000 | 13.70 |
| Total, meq/l | | 490.39 |

| Ânions | | |
|--------------|----------|------------|
| | mg/l | mg/l CaCO3 |
| HCO3 | 120.00 | 98.36 |
| SO4 | 189.00 | 196.88 |
| Cl | 16750.00 | 23624.82 |
| F | 0.86 | 2.26 |
| NO3 | 0.70 | 0.56 |
| PO4 | 0.00 | 0.00 |
| SiO2 | 1.01 | |
| B | 4.20 | |
| Total, meq/l | | 478.49 |

Figura 10: Parâmetros entrado do projeto de dessalinização

Fonte: Software IMSDesign

Tendo efetuado a inserção dos parâmetros constituintes da água do mar da zona do Calhau, no software é efetuado o cálculo da quantidade de sais dissolvidos ($\text{TDS}=27\,491\text{ mg/l}$) e a pressão osmótica mínima que deve ser aplicada para ocorrer de forma eficiente o processo da dessalinização (Figura 11).

| Saturações | | | |
|-------------------|-------|--------|--------|
| TDS Calculado | 27491 | mg/l | |
| Pressão osmótica, | 21.3 | bar | |
| Ca3(P04)2 SI | 0.00 | | |
| CCPP | 18.05 | mg/l | |
| | | CaSO4 | 1.6 % |
| | | BaSO4 | 0.0 % |
| | | SrSO4 | 3.2 % |
| | | CaF2 | 11.4 % |
| | | Sílica | 0.8 % |

Figura 11: Saturações

Fonte: Software IMSDesign

4.2.3 Dimensionamento das Membranas

Na aba projeto do software utilizado é inserido os principais dados do projeto. Em função da quantidade de água entrada, apenas 40% desta é aproveitável para o consumo humano.

Devido as caraterísticas da água do mar, das simulações realizada no software, é necessário ter 24 membranas, do tipo CPA5- LD4040.

O circuito hidráulico da unidade de dessalinização encontra-se dividido em 2 estágios. Cada estágio contém 12 membranas distribuídos em 4 vasos de pressão, sendo que em cada vaso de pressão é colocado 3 membranas associados em serie (Figura 12).

| Trens (conjunto) | | Passo 1 |
|---------------------------|------|---------|
| pH de alimentação | | 7.50 |
| Recuperação | % | 40.00 |
| Fluxo / trem de permeado, | m3/h | 2.24 |
| Fluxo médio | lmh | 12.5 |
| Fluxo de alimentação, | m3/h | 5.60 |
| Fluxo de rejeição | m3/h | 3.36 |

| Especificação do Sistema | | |
|----------------------------|-------------|-------------|
| | Estágio 1 | Estágio 2 |
| Tipo de elemento | CPA5-LD4040 | CPA5-LD4040 |
| Elementos / Vasos de press | 3 | 3 |
| Nº de vasos de pressão | 4 | 4 |

Figura 12: Principais parâmetros do projeto e número de membranas

Fonte: Software IMSDesign

A membrana CPA5-LD, possui uma bioincrustação mínima, reduzida incrustação coloidal e maior facilidade de limpeza. As membranas CPA proporcionam as melhores taxas de rejeição de sal disponíveis - em todos os elementos. As principais características da membrana são apresentadas a seguir, e as suas dimensões na Figura 13.

Características

- Fluxo permeado: 41,6 m³/d
- Rejeição de sal: 99,7%
- Temperatura de Funcionamento: 25°C
- Temperatura Máxima de Funcionamento: 45°C
- Fluxo Máximo de Abastecimento: 17,0 m³/h

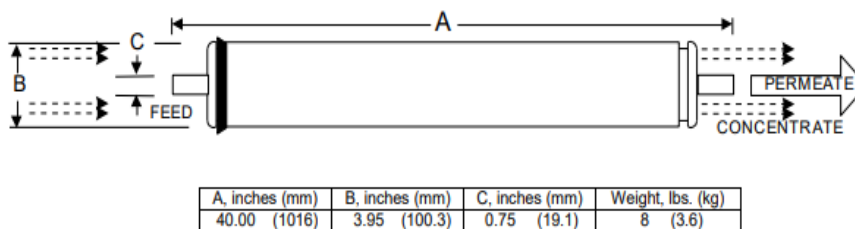


Figura 13: Dimensões da membrana escolhida

Fonte: <https://pt.pureaqua.com/membrana-hydranautics-cpa5-ld-4040/>

A figura abaixo mostra o diagrama de fluxo da central de dessalinização, sendo que na tabela 3 é indicada para cada etapa o caudal, pressão e a quantidade de sais dissolvidos.

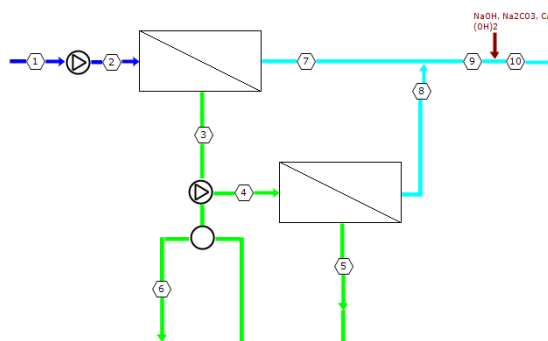


Figura 14: Fluxograma da unidade osmose inversa

Fonte: Software IMSDesign

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Fluxo (m3/h) | 5.60 | 5.60 | 4.64 | 4.64 | 3.36 | 3.36 | 0.960 | 1.28 | 2.24 | 2.24 |
| Pressão (bar) | 0 | 29.4 | 29.1 | 39.6 | 39.4 | 0.300 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TDS (mg/l) | 27491 | 27491 | 33019 | 33019 | 45333 | 45333 | 772 | 752 | 761 | 772 |
| pH | 7.50 | 7.50 | 7.57 | 7.57 | 7.69 | 7.69 | 6.40 | 6.39 | 6.40 | 9.70 |
| Econd (µs/cm) | 44106 | 44106 | 52416 | 52416 | 70699 | 70699 | 1635 | 1599 | 1615 | 1634 |

Tabela 3: Análise do caudal e pressão em cada ponto da central de dessalinização

Fonte: Software IMSDesign

Como forma de melhorar a qualidade da água dessalinizada é aplicada uma etapa de pós-tratamento.

As águas produzidas pelas estações de dessalinização, especialmente as plantas de OI, apresentam falta de carbonatos, sulfatos e microelementos. Isto torna-as agressivas para tubos de condução e, também, para solos agrícolas.

A aplicação da etapa de pós-tratamento tem com objetivo ajustar o índice de Langelier¹.

No pós-tratamento, o permeado é remineralizado, endurecido, desinfetado e ajustado a padrões de água adequados para consumo humano.

Os dois métodos mais utilizados de remineralização da água dessalinizada são a adição de hidróxido de cálcio ou de carbonato de cálcio.

A água produzida pela central de osmose inversa apresenta um índice Langelier de - 0,4, o que se pode concluir que está dentro dos parâmetros internacionais (Figura 15).

¹ O índice de Langelier (IL) é usado para determinar o equilíbrio da água. No caso da legislação portuguesa para as águas dessalinizadas (Decreto-Lei 92/2010), a IL deve estar entre $-1 < IL < +1$.

Projeto: Dessalinização_Calhau Calculado por: Alessandro Temperatura: 27.0 °C Tipo de água: Permeado Data: 12/11/2019

pH: 9.70 CO3: 3.7 mg/l CO2: 0.0 mg/l Condutividade E: 1633.5 µs/cm

| Cátions | | | Ânions | | |
|---------------------|--------|------------|------------------------|--------|------------|
| | mg/l | mg/l CaCO3 | | mg/l | mg/l CaCO3 |
| Ca | 2.90 | 7.26 | HCO3 | 9.56 | 7.83 |
| Mg | 6.76 | 27.69 | SO4 | 1.28 | 1.34 |
| Na | 280.42 | 609.61 | Cl | 453.27 | 639.30 |
| K | 9.83 | 12.57 | F | 0.05 | 0.12 |
| NH4 | 0.00 | 0.00 | NO3 | 0.10 | 0.08 |
| Ba | 0.000 | 0.00 | PO4 | 0.00 | 0.00 |
| Sr | 0.079 | 0.09 | SiO2 | 0.02 | |
| | | | B | 3.92 | |
| Total, meq/l: 13.14 | | | Total, meq/l: 13.09518 | | |

| Pós Tratamento - Consumo Químico | | | |
|----------------------------------|------|--------|---------|
| | NaOH | Na2CO3 | Ca(OH)2 |
| Solução Conc. % | 30.0 | 10.0 | 5.0 |
| Peso específico | 1.30 | 1.10 | 1.006 |
| Custo da Solução EUR/l | 0.0 | 0.00 | 0.0 |
| Dose, mg / l 100 % | 7.0 | 1.4 | 0.8 |
| Consumo kg/h | 0.1 | 0.0 | 0.0 |

| Dosagem de produtos químicos, mg/l (100% de concentração) | | | | | | | |
|---|--------|--------|---------|-------|-----|-----|-------|
| NaOH | NaHCO3 | Na2CO3 | Ca(OH)2 | H2SO4 | HCl | CO2 | NaOCl |
| 7.0 | 0.0 | 1.4 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| Saturações | | | |
|---------------------|-----------------|--------|--------|
| TDS Calculado | 771.8 mg/l | CaSO4 | 0.00 % |
| Pressão osmótica, | 0.60 bar | BaSO4 | 0.00 % |
| Ca3(PO4)2 SI | 0.00 | SrSO4 | 0.00 % |
| CCPP | 6.18 mg/l | CaF2 | 0.00 % |
| Índice de saturação | -0.40 Langelier | Silica | 0.01 % |

Figura 15: Pós tratamento

Fonte: Software IMSDesign

4.2.4 Dimensionamento das bombas osmose inversa

Para efetuar o dimensionamento das bombas foi utilizado os seguintes dados da tabela abaixo.

| | | |
|----------------------------------|------------------------------------|-----|
| CENTRAL DE DESSALINIZAÇÃO | Rendimento da bomba de OI | 80% |
| | Rendimento da bomba de alimentação | 80% |
| | Pressão de operação de OI | 55 |
| | Pressão de alimentação | 5 |
| | Recuperação | 40% |
| | Tempo de operação estimado | 8 |

Tabela 4: Dados para dimensionar as bombas

Fonte: Própria

Para realizar o cálculo da potência das bombas utilizamos a seguinte expressão:

(11)

$$P = \frac{P(Pa) \times Q(\frac{m^3}{s})}{\eta} \quad (11)$$

Para a bomba de alta pressão, no caso da água do mar considerou uma eficiência de 80%, pressão de 55 bar.

$$P = \frac{55 \times 100000 \times 5,62}{3600 \times 0,8} = 10\,733\,W$$

No caso da bomba de alimentação, eficiência de 50%, e pressão de 6 bar.

$$P = \frac{5 \times 100000 \times 5,62}{3600 \times 0,8} = 976\,W$$

Para efetuar o dimensionamento da bomba captação de água, desconsiderou as perdas por atrito ao longo da tubulação, visto que a água não irá deslocar basicamente sem nenhuma inclinação.

No caudal de captação considerou um caudal 40% superior da água a da entrada. A bomba de captação é de 3 kW.

4.2.5 Viabilidade económica do sistema de dessalinização

A tabela abaixo mostra os custos diretos da central de dessalinização.

| Designação | Quantidade | Preço (Euro) |
|------------------------|------------|--------------|
| Membranas | 24 | 4 581 |
| Bomba Osmose Inversa | 1 | 3 821 |
| Bomba alimentação | 1 | 948 |
| Bomba captação | 1 | 1 107 |
| Lâmpadas | 3 | 21 |
| Computador | 1 | 57 |
| Contentor 40 pés | 1 | 1 250 |
| Equipamentos elétricos | 1 | 727 |
| Instalação | 1 | 6 272 |
| Equipamentos auxiliar | 1 | 1 450 |
| Total | | 20 234 |

Tabela 5: Custos direto da unidade de dessalinização

Fonte: própria

✓ Receitas Anual da venda de água

Para o caso da Electra, 1 m³ de água equivale a 240 ECV (duzentos e quarenta escudos cabo-verdianos). Na central de dessalinização para a região de calhau, iremos ter uma produção de 540 m³ de água por mês. Sendo assim, a receita derivada da venda de água seria de 129 600 ECV (cento e vinte e nove mil e seiscentos escudos cabo-verdianos). Por ano haveria uma produção de 6 480 m³ de água, o que equivale a 1 555 200 ECV (um milhão, quinhentos e cinquenta e cinco mil e duzentos escudos cabo-verdianos)

✓ Payback Simples

O payback simples é calculado pela razão entre o investimento total da instalação, pelas receitas anuais obtidas.

$$\text{Payback Simples} = \frac{20\,234 \times 110}{1\,555\,200} = 1,4 \text{ anos}$$

Pode-se assim concluir que a instalação de um projeto desse tipo na localidade do Calhau, em São Vicente, apresenta uma viabilidade económica positiva.

4.3 Dimensionamento Do Sistema Fotovoltaico

No dimensionamento do sistema fotovoltaico seguiu os seguintes passos:

- ✓ Diagrama carga da Instalação,
- ✓ Dados meteorológicos do local
- ✓ Potencia fotovoltaica requerida
- ✓ Dimensionamento dos cabos
- ✓ Dimensionamento dos dispositivos proteção
- ✓ Análise da viabilidade económica

4.3.1 Diagrama carga da instalação

A central de dessalinização de água irá ter um horário fixo de trabalho, durante oito horas aproveitando assim as horas em que temos maior incidência da radiação solar. Sendo assim, em função da potência de cada equipamento multiplica-se este valor pelo número de horas de funcionamento, encontra-se a energia diária gasta pela central de dessalinização.

O Gráfico 7 abaixo mostra a respetiva curva de carga diária da central de dessalinização. A potência de pico é de 15,2 KW. Diariamente a central gasta 138,6 KWh de energia elétrica. A energia anual é dada pela multiplicação da energia diária pelo número de dias num ano (365), tendo obtido um valor de 50 589 KWh.

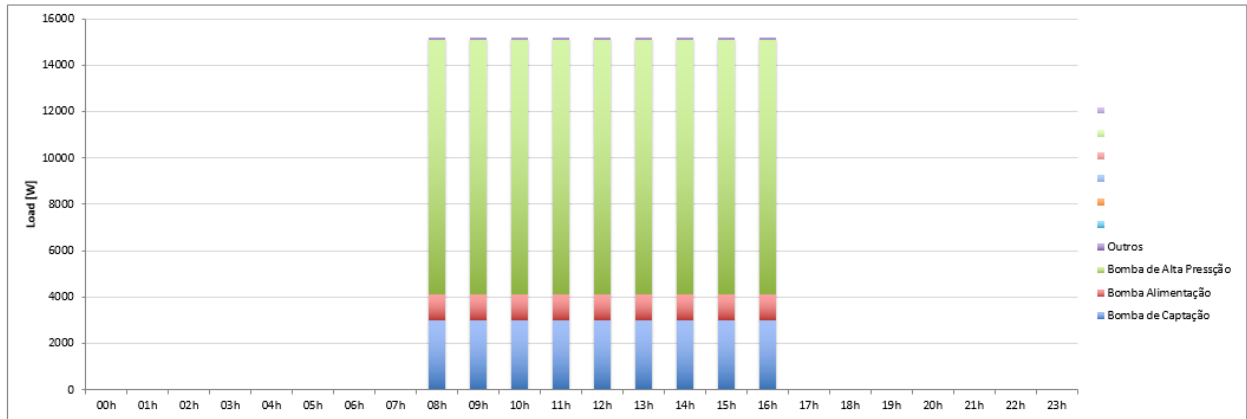


Gráfico 7: Curva carga da instalação

Fonte: própria

4.3.2 Dados meteorológicos do local

Numa primeira etapa do dimensionamento de um projeto fotovoltaico é necessário levar em consideração o potencial solar do local de instalação, além de inclinar e orientar o módulo solar na posição correta.

Sendo assim para iniciar o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário conhecer os dados meteorológicos do local. Para obter os dados climáticos de Calhau, utilizou-se o software PVSYST.

Em termos de recurso solar a localidade é excelente com uma media de 2,49 kwh/m²/dia. O mês de maior recurso solar é julho apresentando uma média de 3,05 KWh/m²/dia, e a menor é o mês de Dezembro que ronda os 1,87 KWh/m²/dia.

A Figura 16, mostra um print retirado do software PVSYST, onde é possível visualizar os dados do local.

| Localização | | Calhau (Cape Verde) | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|--|--------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Fonte dos dados | | Calhau_MN72.SIT -- Meteonorm 7.2 (1980-1991), Sat=100% | | | | |
| | Irradiação global horizontal | Irradiação difusa horizontal | Temperatura | Velocidade do vento | Linke Turbidity | Relative Humidity |
| | kWh/m ² .dia | kWh/m ² .dia | °C | m/s | [-] | % |
| Janeiro | 4.64 | 1.91 | 21.6 | 6.60 | 4.178 | 69.1 |
| Fevereiro | 5.33 | 2.26 | 21.1 | 6.50 | 4.256 | 70.3 |
| Março | 6.08 | 2.36 | 21.8 | 6.41 | 4.493 | 70.7 |
| Abril | 6.44 | 2.69 | 21.8 | 6.80 | 4.572 | 71.9 |
| Maio | 6.54 | 2.82 | 22.6 | 6.80 | 5.202 | 72.6 |
| Junho | 6.32 | 2.93 | 23.4 | 6.30 | 6.621 | 76.0 |
| Julho | 6.04 | 3.05 | 25.2 | 5.10 | 6.936 | 75.2 |
| Agosto | 5.76 | 2.97 | 26.4 | 4.90 | 6.148 | 77.2 |
| Setembro | 5.64 | 2.75 | 26.8 | 5.09 | 5.833 | 80.0 |
| Outubro | 5.32 | 2.44 | 26.3 | 5.40 | 5.202 | 75.8 |
| Novembro | 5.00 | 1.80 | 24.4 | 5.39 | 4.098 | 74.9 |
| Dezembro | 4.43 | 1.87 | 23.1 | 5.59 | 3.866 | 73.1 |
| Ano | 5.63 | 2.49 | 23.7 | 5.9 | 5.117 | 73.9 |

Figura 16: Dados meteorológicos do local

Fonte: PVSYST

4.3.3 Potência fotovoltaica requerida e inversor

Em função da energia consumida pela central é possível calcular a potência fotovoltaica. Para o caso de Mindelo é utilizado seis horas de sol pleno.

$$P_{FV} = \frac{E(KWh/dia)}{HSP} = \frac{138,6 KWh/dia}{6} = 23,1 KW$$

Tendo como base o valor da potência fotovoltaica, escolheu-se um módulo fotovoltaico de 300w da serie SMA Demo Poly 300W. A Tabela 6 indica as principais características elétricas dos módulos.

| | | | |
|------------------------------------|-------------------------|---|---------------------------|
| Fabricante | .SMA | Tecnologia de células | poly |
| Módulo fotovolta. | SMA Demo Poly 300W | Certificação | EU |
| Características eléctricas | | Coefficientes de temperatura | |
| Potência nominal | 300,00 Wp | Tensão MPP | --- |
| Tolerância da potência | -0,00/+3,00 % | Tensão de circuito aberto | -0,3000 %/°C -135,9 mV/°C |
| Tensão MPP | 36,60 V | Corrente de curto-circuito | 0,0600 %/°C 5,30 mA/°C |
| Corrente MPP | 8,20 A | Degradação por envelhecimento | |
| Tensão de circuito aberto | 45,30 V | Tolerância da tensão de circuito aberto | 0,00 % |
| Corrente de curto-circuito | 8,84 A | Tolerância da tensão MPP | 0,00 % |
| Tensão permitida do sistema | 1000,00 V | Tolerância da corrente MPP | 0,00 % |
| Rendimento do módulo FV (STC) | 15,46 % | Tolerância corrente de curto-circuito | 0,00 % |
| Recomendação de ligação à terra | Nenhuma ligação à terra | Informações complementares | |
| Características mecânicas | | Módulo FV actual | Sim |
| Quantidade de células no módulo FV | 72 | Módulo fotovoltaico próprio | Não |
| Largura | 992 mm | Favorito | Não |
| Comprimento | 1956 mm | Comentário | |
| Peso | 26,50 kg | | |

Tabela 6:: Dados do módulo FV

Fonte: Sunny Web Design

No caso de Cabo Verde os módulos fotovoltaicos devem estar orientados ao sul e inclinação de 16°, como mostra a figura abaixo.

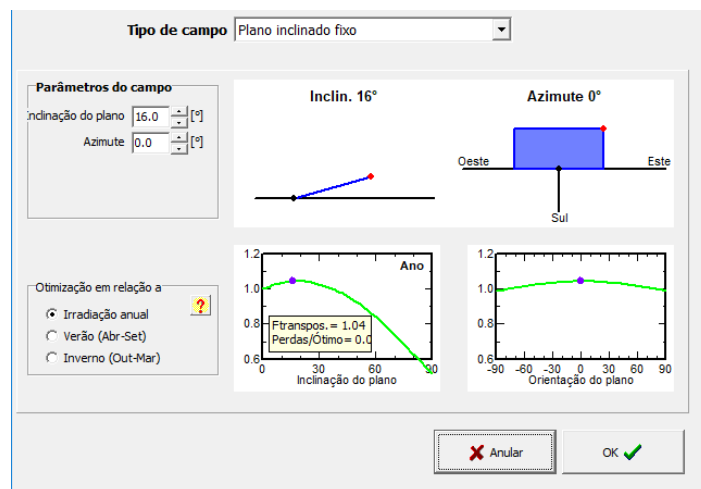


Figura 17: Inclinação dos módulos FV

Fonte: PVSYST

Com base na potência unitária dos módulos e a potência fotovoltaica total, o número de módulos é dado pela equação abaixo:

$$N = \frac{23\,100}{300} = 77 \text{ módulos}$$

Para ter uma distribuição mais concisa dos módulos no sistema optou-se por utilizar 78 módulos.

Com o valor da potência total do sistema, pode-se escolher o inversor a ser utilizado. A potência do inversor deve estar entre:

$$\begin{aligned} 0,7 \times P_{FV} &< P_{inv} < 1,2 \times P_{FV} \\ 0,7 \times 23,1 &< P_{inv} < 1,2 \times 23,1 \\ 16,17 &< P_{inv} < 27,72 \end{aligned}$$

Com base no dimensionamento realizado, escolheu 1 inversor trifásico Sunny Tripower da serie STP 25000TL-30. Este inversor possuiu duas entradas MPPT.

O *Sunny Tripower* é o inversor ideal para instalações comerciais e industriais em larga escala. Não apenas oferece extraordinários altos rendimentos com uma eficiência de 98,4%, mas também oferece enorme flexibilidade de projeto e compatibilidade com muitos módulos fotovoltaicos graças às suas capacidades de *multistring* e ampla faixa de tensão de entrada.

O *Sunny Tripower* vem com funções de gerenciamento de rede de ponta, como o controlo da instalação que permite ao inversor regular a potência reativa no ponto de acoplamento comum. Controladores separados não são mais necessários, reduzindo os custos do sistema.

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| Potencia Máxima CC | 25 550 W |
| Tensão Máxima Entrada | 1000 V |
| Entradas MPPT | 2 |
| Gama Voltagem MPPT | 390-800 V |
| Corrente Máxima CC | 33 A |
| Frequência | 50 Hz |
| Tensão AC | 230 Fase-neutro/ 380 fase-fase |
| Corrente AC | 36,2 A |
| Eficiência | 98,4 |

Tabela 7: Parâmetros do inversor


Fonte: Sunny Web Design

A Figura 18, mostra os dados do dimensionamento do sistema fotovoltaico no software Sunny Web Design.


Vista geral do sistema


78 x .SMA SMA Demo Poly 300W (Gerador fotovoltaico 1)

Azimute: 0 °, Inclinação: 16 °, Tipo de montagem: Telhado, Potência de pico: 23,40 kWp

 1 x STP 25000TL-30

Monitorização do sistema

 Sunny Home Manager 2.0

 Sunny Portal

Dados de dimensionamento fotovoltaico

| | | | |
|---|---------------|---------------------------------------|---------------|
| Quantidade total de módulos FV: | 78 | Rácio de desempenho*: | 85,3 % |
| Potência de pico: | 23,40 kWp | Rendimento energético espec.*: | 1909 kWh/kWp |
| Número de inversores fotovoltaicos: | 1 | Perdas em linha (em % de energia FV): | 0,11 % |
| Potência nominal CA dos inversores fotovoltaicos: | 25,00 kW | Carga desequilibrada: | 0,00 VA |
| Potência activa CA: | 24,25 kW | Consumo anual de energia: | 50.589 kWh |
| Relação de potência activa: | 103,6 % | Autoconsumo: | 30.682,41 kWh |
| Rendimento energético anual*: | 44.660,09 kWh | Quota de autoconsumo: | 68,7 % |
| Factor de utilização da energia: | 100 % | Taxa de autonomia: | 60,7 % |

Figura 18: Dados do dimensionamento do sistema FVM

Fonte: Sunny Web Design

No inversor escolhido é apresentado 1 pacote de monitorização que permite ao usuário com acesso a internet, efetuar o controlo do seu sistema fotovoltaico.

Para efetuar a configuração do sistema, é necessário calcular o número máximos de módulos que pode ser associado em série e em paralelo.

$$\text{Número de módulos em série} = \frac{800}{36,6} = 22$$

$$\text{Numero de módulos em paralelo} = \frac{33}{8,20} = 4$$

A figura abaixo mostra como foi efetuada a distribuição dos módulos fotovoltaicos nas entradas MPPT do inversor. Na primeira entrada utilizou-se 40 módulos, distribuídos em duas strings de 20 módulos associados em série, e de seguida, estas conectadas em paralelo. Na entrada B 38 módulos, 2 strigns de 19 associados em série, e de seguida, estas duas string são conectadas em paralelo.

| Dados de dimensionamento fotovoltaico | | |
|---|-----------------|-----------------|
| Entrada A: Gerador fotovoltaico 1 40 x .SMA SMA Demo Poly 300W, Azimute: 0 °, Inclinação: 16 °, Tipo de montagem: Telhado | | |
| Entrada B: Gerador fotovoltaico 1 38 x .SMA SMA Demo Poly 300W, Azimute: 0 °, Inclinação: 16 °, Tipo de montagem: Telhado | | |
| Número de strings: | Entrada A: 2 | Entrada B: 2 |
| Módulos FV: | 20 | 19 |
| Potência de pico (entrada): | 12,00 kWp | 11,40 kWp |
| Tensão FV típica: | ✓ 669 V | ✓ 636 V |
| Tensão FV mín.: | 631 V | 600 V |
| Potência CC mín. (tensão de rede 230 V): | 150 V | 150 V |
| Tensão FV máx.: | ✓ 928 V | ✓ 882 V |
| Tensão CC máx.: | 1000 V | 1000 V |
| Corrente máx. do gerador FV: | ✓ 16,4 A | ✓ 16,4 A |
| Corrente máx. de entrada por rastreamento MPP: | 33 A | 33 A |
| Corrente máx. de curto-circuito por rastreamento | 43 A | 43 A |
| Corrente máx. de curto-circuito (sistema fotovoltaico): | ✓ 17,7 A | ✓ 17,7 A |

Figura 19: Distribuição das string dos módulos FV

Fonte: Sunny Web Design

4.3.4 Dimensionamento dos cabos CC e AC

Para realizar o dimensionamento dos cabos foi utilizado os seguintes dados, elencados na tabela abaixo:

| | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Tensão CC (V) | 669 (Entrada A) e 636 (Entrada B) |
| Corrente CC (A) | 17,7 |
| Comprimento do cabo CC (m) | 8 |
| Tensão AC (V) | 380 |
| Corrente AC (A) | 36,2 |
| Comprimento do cabo AC (m) | 45 |
| Material dos cabos | Cobre (56 m/Ω.mm ²) |

Tabela 8: Dados para dimensionar os cabos

Fonte: Própria

$$S_{DCB} = \frac{2 \times L_{DC} \times I_{Corte}}{1\%V_{Fileira} \times \sigma} = \frac{2 \times 8 \times (1,25 \times 17,7)}{0,01 \times 639 \times 56} \approx 1 \text{ mm}^2$$

$$S_{DCA} = \frac{2 \times L_{DC} \times I_{Corte}}{1\%V_{Fileira} \times \sigma} \approx 1 \text{ mm}^2$$

$$S_{AC} = \frac{\sqrt{3} \times L_{AC} \times I_{AC} \times \cos \varphi}{3\%V_{AC} \times \sigma} = \frac{\sqrt{3 \times 45 \times (1,25 \times 36,2) \times 0,97}}{0,03 \times 230 \times 56} \approx 8,85 \text{ mm}^2$$

No dimensionamento dos cabos CC foi considerado dados comerciais, sendo por isso, a secção dos cabos FV escolhido é 4 mm², com 8m de comprimento, sendo que a potencia dissipada é 2012 W. A secção do cabo AC é 14 mm² e potência nominal dissipada é 166,67W.

A seguir na figura abaixo, mostra os cabos dimensionados no software Sunny Web Design.

| Cabos de CC | | | | | | |
|---|---|------------------|---------------------|--------|------------------------------|-------------------------|
| | | Material do cabo | Comprimento simples | Secção | Queda de tensão | Potência dissipada rel. |
| Projecto parcial 1 | | | | | | |
|  1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1 | A | Cobre | 8,00 m | 4 mm² | 588,2 mV | 0,09 % |
| | B | Cobre | 8,00 m | 4 mm² | 588,2 mV | 0,09 % |
| Cabos LV1 | | | | | | |
| | | Material do cabo | Comprimento simples | Secção | Resistência de linha | Potência dissipada rel. |
| Projecto parcial 1 | | | | | | |
|  1 x STP 25000TL-30 Sistema parcial 1 | | Cobre | 45,00 m | 14 mm² | R: 18,429 mΩ XL: 3,375 mΩ | 0,76 % |

Figura 20: Cabos dimensionados no software Sunny Web Design

Fonte: Sunny Web Design

4.3.5 Dimensionamento dos dispositivos de proteção

Entre o sistema fotovoltaico e o inversor, deve-se utilizar um dispositivo de corte de energia elétrica, facilitando trabalhos de manutenção e operação. O dispositivo de corte CC deve ser bipolar e a corrente admissível deve ser 25% acima a corrente do sistema fotovoltaico. Entre o interruptor corte DC e os módulos FV, é preciso ter fusíveis para proteção contra curto-circuito que é dimensionado segundo os mesmos parâmetros.

$$I_{IDC} = 1,25 \times 17,7 = 22,125 \text{ A}$$

O interruptor de corte DC e o fusível deve suportar uma corrente igual ou superior a 22,125 A (nas pesquisas efetuadas, no projeto usar-se-á 1 interruptor corte DC 25 A e fusível de 25A).

Para proteger o sistema contra eventuais descargas atmosféricas e de sobretensões de manobra é necessário colocar descarregador de sobretensões. O dimensionamento do dps foi de acordo com a norma IEC 61643-1. No lado CC foi colocado em cada entrada MPPT do inversor 1 descarregador sobretensão 1000 V e corrente 25 KA. A saída do inversor é colocada um disjuntor de 50 A.

A tabela abaixo mostra os dispositivos de proteção da central fotovoltaica:

| Designação | Quantidade | Tipo |
|------------------------------|------------|------------------------------------|
| Interruptor corte cc | 2 | Interruptor Modular 1P 25A |
| Fusível FV | 4 | Fusível 10X38 Gpv/1000 DC 25 A |
| Descarregador Sobretensão CC | 2 | Tipo2 p/1000VDC Up=4kV, Fotovolt 1 |
| Disjuntor | 1 | Trifásico 4polos 50A |

Tabela 9: Dispositivos de proteção

Fonte: Própria

4.3.6 Viabilidade Económica do Sistema Fotovoltaico

Para definição e estimativa dos investimentos necessários, foram utilizados os preços dos módulos e inversores obtidos em sítios eletrónicos de compra online. Adicionalmente, consideram-se os custos de cabos, materiais extras, projeto e instalação.

| Designação | Quantidade | Preço (EUR) | Total (EUR) |
|--|------------|-------------|----------------------|
| Modulo FV | 78 | 230 | 17 940 |
| Inversor STP 25000TL-30 | 1 | 3 382 | 3 382 |
| Fusível FV 25A | 4 | 1 | 4 |
| Descarregador sobretensão FV 1000V | 2 | 173 | 346 |
| Descarregador sobretensão AC Tipo 2 3P+N 65kA c/NA+NF | 1 | 650 | 650 |
| Interruptor de Corte CC 25A | 2 | 132 | 264 |
| Disjuntor | 1 | 88,95 | 88,95 |
| Cabos CC | 64 | 1 | 64 |
| Cabos AC | 180 | 0,45 | 99 |
| Estrutura | 78 | 34 | 2 652 |
| Custo do Projeto | 1 | 2 549 | 2 549 |
| Custo Instalação | 1 | 4 250 | 4 250 |
| Transporte | 1 | 700 | 700 |
| Custo Total do Projeto | | | 32 988,95 EUR |

Tabela 10: Custo direto do sistema FV

Fonte: Própria

A análise da viabilidade económica do sistema fotovoltaico foi realizada no software Retscreen.

O software RETScreen é um pacote de análise de projetos de energia limpa com base na plataforma de cálculo Microsoft Excel, cujo intuito é obter dados de irradiação solar, temperatura e outras informações a fim de analisar a viabilidade de uma instalação.

O RETScreen é usado como ferramenta de apoio à decisão, permitindo avaliar a produção de energia elétrica, os custos do ciclo de vida e as reduções de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para vários tipos de fontes de energia e tecnologias de energia renovável.

A atividade financeira da geração FV está diretamente relacionada às tarifas de energia elétrica, visto que o benefício para o gerador FV, do ponto de vista financeiro, é o custo evitado para a compra de energia elétrica da concessionária.

Para efetuar a análise da viabilidade económica de um projeto no software RETScreen em uma primeira instância deve-se colocar a localização do local. De seguida insere-se o custo de energia paga à Electra por cada kWh de energia e os principais dados do projeto do sistema fotovoltaico, sendo estes apresentados na Figura 21.

Fotovoltaica - Nível 2

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar: Fixo

Inclinação: 16

Azimut: 0

Mostrar dado

Fotovoltaica

Tipo: poly-Si

Potência elétrica: 23 400 W

Fabricante: SMA

Modelo: SMA Demo poly 300W

Número de unidades: 78

Eficiência: 15.6%

Temperatura de operação normal da célula: 45 °C

Coefficiente de Temperatura: 0.4% / °C

Área do coletor solar: 150 m²

Perdas diversas: 1.5%

Inversor

Eficiência: 98.4%

Capacidade: 25.55 kW

Perdas diversas: 2.6%

Resumo

Fator de Utilização: 22.2%

Custos iniciais: \$ 3 628 784

Custo de operações e manutenção (economia): \$ 125 000

Preço eletricidade exportada: Preço eletricidade exportada - anual

Eletricidade exportada p/ rede: 45 484 kWh

Receita com eletricidade exportada: \$ 1 455 488

Figura 21: Parâmetros de entrada do projeto em Retscreen

Fonte: Própria

Com base nos cálculos realizados no Retscreen, a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico é 45484 KWh. O consumo específico de combustível no Mindelo é 213 gr/kWh. Em termos anuais iremos ter uma poupança de 9 688, 092 Kg de combustível.

Para efetuar a análise da viabilidade económica inseriu-se os seguintes dados:

Parâmetros financeiros

| | | |
|-------------------------|-----|------|
| Taxa de inflação | % | 1.3% |
| Vida do projeto | ano | 25 |
| Razão da dívida | % | 50% |
| Taxa de juros da dívida | % | 8.3% |
| Duração da dívida | ano | 5 |

Tabela 11: Dados Financeiros de entrada

Fonte: Própria

O fluxo de caixa do projeto, altamente positivo, conforme pode visualizada no gráfico abaixo, sendo que este projeto é recuperável em menos de 3 anos.

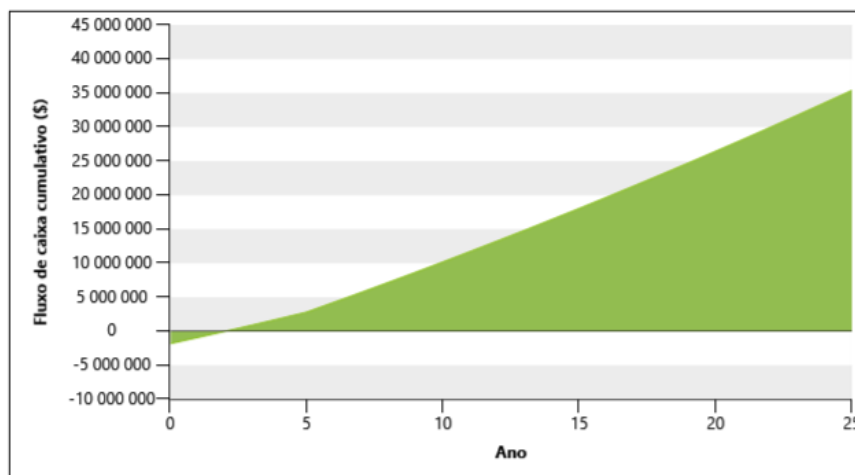


Gráfico 8: Fluxo de caixa do projeto

Fonte: Propria

A tabela abaixo, mostra os dados da análise financeira realizada, sendo que pode concluir apresenta uma viabilidade financeira positivo, visto que apresenta um retorno do investimento num período de aproximadamente 3 anos (2,7 anos) e taxa interna de retorno positivo.

| | | |
|------------------------------------|-----|-------|
| TIR antes impostos-capital próprio | % | 53.8% |
| TIR antes impostos - ativos | % | 29.6% |
| Retorno simples | ano | 2.7 |
| Retorno do capital próprio | ano | 2 |

Tabela 12: Dados da viabilidade económica do sistema FV

Fonte: Própria

CAPITULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Impacto Ambiental

O recurso a tecnologias de dessalinização como uma opção para a obtenção de água potável, nem sempre é aceite da melhor forma, há sempre a preocupação de contaminação do ambiente por parte dos ambientalistas. Dentro dos impactos da dessalinização da água via osmose inversa, destaca-se:

- Lançamento de água com elevada concentração de sais no meio ambiente. A água muito salgada provoca uma diminuição dos níveis de oxigénio (carência em oxigénio) afetando assim a fauna e a flora marinha.
- Impactos associados à fase de construção resultam da atividade de obra onde advêm perturbações do solo, o uso de maquinaria. Todas estas perturbações levam a impactos ao nível do ar, do solo, e do meio de captação de água (mar, oceano, rio, aquíferos), o que leva a alterações da fauna e da flora, terrestre e aquática.
- Com a necessidade de captação de grandes volumes de água do mar ou estuários, são construídas infraestruturas de ingestão de água que causam ferimentos, enclausuramento e morte de peixes e outros organismos de maiores dimensões, e arrastamento de organismos mais pequenos como larvas, ovos de peixe e plâncton, que sendo submetidos a elevadas temperaturas ou esmagados por membranas de alta pressão acabam por morrer.
- No processo de dessalinização são adicionados produtos químicos como coagulantes, por exemplo o cloreto de ferro e cloreto de alumínio, utilizados na remoção de matéria em suspensão presentes na fonte de água; anti incrustantes, tais como fosfonatos e polifosfatos e são utilizados também biocidas, agentes anti espuma, e detergentes o que leva a um melhor desempenho do sistema, evita entupimentos e diminui a

necessidade de limpeza. Contudo, estes produtos podem ser tóxicos para organismos marinhos mesmo em baixas concentrações.

- Durante a fase de operação, o equipamento poderá sofrer corrosão, havendo libertação de metais pesados como cobre, zinco, e níquel na descarga de concentrado. Grandes concentrações destes componentes podem ser tóxicas no meio aquático prejudicando as comunidades biológicas.

5.2 Conclusão

A osmose inversa com painéis fotovoltaicos é uma solução adequada às pequenas comunidades, quer para a agricultura, como para a produção de água potável. No entanto o custo de água é elevado em comparação com os processos que utilizam combustíveis fósseis. Os custos tendem a baixar quando se trata de centrais de escala maior e localizados em sítios onde a radiação solar é elevada.

A seleção de um processo de dessalinização deve ser baseada num estudo cuidadoso das condições e aplicações do local. A utilização das energias renováveis para a dessalinização é uma opção tecnicamente viável e os avanços tecnológicos tendem a melhorar a eficiência destas duas tecnologias, tornando-as cada vez mais competitivas em relação aos sistemas convencionais que utilizam combustíveis fósseis, principalmente em áreas remotas sem acesso à eletricidade.

O projeto demonstrou ser viável em termos financeiros, prevendo um retorno do investimento em menos de 3 (três) anos.

A escolha de um processo de dessalinização, acionado com energias renováveis, deve ser efetuada tendo em conta a quantidade de água requerida para o mesmo e a disponibilidade de recursos renováveis no local.

5.3 Sugestões de Trabalhos Futuros

- Valorização de salmouras, para o cultivo de microalgas. A microalga *Dunaliella* salina para a produção de moléculas como o β -caroteno e ácidos polinsaturados e produção de biodiesel.
- Recuperação da energia, pela elevada pressão da saída na salmoura.
- Projeto de recuperação de salmoura que combina tecnologias de nanofiltração e eletrodialise para a produção de soda a partir da salmoura.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Karaghoul, A., Renne, D. e Kazmerski, L. L. (2009). *Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9. pp. 2397–2407.

Burn, S.; Hoang M.; Zarzo, M. e OlewniakF. (2015). *Desalination techniques — A review of the opportunities for desalination in agriculture*.

Bourouni, K., (2012), *Optimization of Renewable Energy Systems: The Case of Desalination*, Dr. Arzu Şencan. Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems.

Carneiro, (2009). *Dimensionamento De Sistemas Fotovoltaicos*, Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Minho.

Castro, R. M. (2012). *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e mini-Hídrica*. Lisboa, Portugal: IST Press.

Castro, R. M. (2009). *Introdução a Energia Fotovoltaica, Energias Renováveis e Produção Descentralizado*, Lisboa, Portugal: IST Press.

Clayton, R. (2006). *Desalination For Water Supply FR/R0013*. U.K: Foundation for Water Research. Review of Current Knowledge.

Copetti, J.; Macagnan, M. (2007). *Baterias em sistemas solares fotovoltaicos*. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar, Fortleza.

Dazcal, R.; Mello, A. (2018). *Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie*, Abenge – Associação Brasileira de Educação de Engenharia, Fortaleza.

Freitas, S. S. (2008). *Dimensionamento de sistemas Fotovoltaicos*. Tese mestrado em Engenharia Industrial ramo Engenharia Electrotécnica, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança. Portugal.

Gaio, S.S. M. (2016). *Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica Dissertação de Mestrado*, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Gazoli, J. R., Villalva, M. G., e Guerra, J. (2012). *Energias Renováveis Alternativas. Energia Solar Fotovoltaica Sistemas conectados à rede eléctrica*.

Gomes, S. M. (2009). *Integração em edifícios de um sistema Fotovoltaico de Potência 3,68kWp (Microgeração)*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Guerreiro, M. L. F. B. *Dessalinização para produção de água potável: perspectivas para Portugal*, Universidade do Porto, 2009.

Gundersen, B. (2010). *An investigation on grid connectable single phase photovoltaic inverters*. Master of Science in Energy and Environment, Norwegian University of science and Technology, Department of Electric Power Engineering, Norwegian.

Greenlee, L. F. (2009). *Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges*. Water Research.

Greenpro. (2004). *Energia Fotovoltaica: Manual sobre Tecnologias, Projeto e Instalação*. Lisboa, Portugal: greenpro.

Gtes. (2004). *Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos*. Edição especial da PRC-PRODEEM.

Henthorne, L.; Boysen, B. (2015). *State-of-the-art of reverse osmosis desalination pretreatment..*

IEET. (2006). *Colecção de Regulamentos: Instalações de Energia Eléctrica e Telefones*. Porto, Portugal: Porto Editora.

IST-Greenpro, (2004). *Energia Fotovoltaica - Manual Sobre Tecnologias, Projeto E Instalação*, p. 368, 2004.

Luque, A. e Hegedus, S. (2003). *Photovoltaic Science Handbook of Photovoltaic Science*. Chichester: Wiley & Sons Ltd.

Mendonça, D. E. (2016), *Planta de osmose reversa acionada por módulos fotovoltaicos com MPPT e válvula autorreguladora de pressão*, Dissertação De Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Miller, S; Shemer, H. e Semiat, R. (2013). *Energy and environmental issues in desalination*. Desalination.

Molden, D. (2007). *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, ISBN: 978-1-84407-396-2.

Morais, J. L. (2009). *Sistemas Fotovoltaicos Da Teoria A Pratica*. Porto, Portugal: Engebook.

Noark. (2013). *Photovoltaics catalogue of DC Components and Solutions for PV Applications*. Acessado em 21 de Outubro de 2019, disponível em: http://www.noark-electric.bg/data/struktura/files/Photovoltaics%20EU-EN_20130605.pdf

Pereira, F. A., e Oliveira, M. A. (2011). *Curso Técnico De Energia Solar Fotovoltaica*. Porto, Portugal: Publindustria, Edições Técnicas.

Perez, R., & Perez, K. (2008). Home power. *Off grid & Off shore*.

Pinho, M. A. (2009). *Meio De Cultivo A Base De Concentrado De Dessalinização Obtido Por Osmose Inversa Para Arthrospira (Spirulina) Platensis*, Universidade Federal de Santa Catarina.

Pinho, J. T. e Galdino, M. A. (2014). *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL.

Pugsley, A. Z., Mondol, J. D. e Smyth, M. (2016). “Global applicability of solar desalination,” *Renew. Energy*, vol. 88, pp. 200–219.

Riffel, D. B. (2005). *Unidade De Osmose Reversa Acionada Por Energia Solar Fotovoltaica Sem Baterias: Simulação,, Projeto E Validação Experimental*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará – UFC, 2005.

Sandia (2003). *Desalination And Water Purification Roadmap – A Report Of The Executive Committee*. DWPR Program Report. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation and Sandia National Laboratories.

Schneider Electric (2012). *Selection of low voltage switchgears and circuit protection components per type of photovoltaic electrical architecture*. Safe and reliable photovoltaic energy generation.

SEI. (2009). *Photovoltaics Design And Installation Manual Renewable Energy Education For A Sustainable Future*. Canada: New Society Publishers.

Shatat, M. Worall, M. e Riffat, S. (2013). *Opportunities for solar water desalination worldwide: Review*, *Sustain. Cities Soc.*, vol. 9, pp. 67–80.

Silva, E. (2016). Metodologia de dimensionamento para instalações fotovoltaicas em autoconsumo, Dissertacao Mestrado, Lisboa.

Authority, W. e Country, S. D. (2014). *Seawater Desalination: Camp Pendleton Seawater Desalination Project Option*.

WHO (1970). *European Standards for Drinking-Water*. World Health Organization, Geneva. Acessado em 12 de Agosto de 2019, Disponivel em: http://whqlibdoc.who.int/publications/European_standards_for_drinking-water.pdf.

7. ANEXOS

Anexo1: Tarifa de energia e água

I - Venda de Eletricidade

Tarifa Baixa Tensão Doméstica (BT)

*Aplicável a todos os Clientes de baixa tensão

| BT Doméstica Tarifa D | |
|----------------------------------|---|
| Consumo 1º escalão até 60 kWh | Consumo 2º escalão superior a 60 kWh |
| 24\$11 (*) | 32\$00(*) |

Tarifa Baixa Tensão Industrial (BTE)

*Aplicável a consumidores de energia elétrica em Baixa Tensão para produção de força motriz e outras utilizações industriais em fábricas, oficinas e instalações congêneres (funcionamento regular).

| BT Doméstica Tarifa I |
|--|
| Valor da Fatura: $F = aP + kW$ |
| P = Potência instalada, em kW W = Consumo mensal, em kWh k = multiplicador variável em função do caso do cliente. a = taxa de potência = 317\$63 / kWh (*) b = taxa de energia = 27\$57/ kWh (*) |

Tarifa Media Tensão (MT)

*Aplicável a consumidores de energia elétrica em Média Tensão.

| Tarifa Média Tensão (MT) |
|--|
| Valor da Factura: $F = aP + kW$ |
| P = Potência instalada em kW W = Consumo mensal em kWh k = multiplicador variável em função do caso do cliente. a = taxa de potência = 292\$55 / kWh (*) b = taxa de energia = 22\$60/ kWh (*) |

Iluminação Pública (IP)

*Aplicável às Câmaras Municipais para remuneração do serviço de Iluminação Pública regular).

| Iluminação Pública Tarifa I |
|--|
| 24\$11/ kWh (*) |

Tarifa I - Doméstico

*Aplicável a casas particulares

| Tarifa I - Doméstico | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1º Escalão Consumo até 6m³ | 2º Escalão Consumo acima de 6m³ e até 10m³ | 3º Escalão Consumo Superior a 10m³ |
| 240\$84 | 363\$04 | 489\$91 |

(*) O valor a faturar é igual ao produto do consumo verificado pela tarifa do escalão atingido.

Tarifa II

| | | |
|------------------|---|---------|
| Indústria | Aplicável às empresas e utilizações industriais em fábricas, oficinas e instalações congéneres | 428\$57 |
|------------------|---|---------|

| | | |
|----------------|--|---------|
| Turismo | Aplicável aos hotéis, pensões e outros estabelecimentos congéneres | 560\$74 |
|----------------|--|---------|

Tarifa III-A

| | | |
|------------------------|---|---------|
| Carácter Social | Aplicável aos hospitais, fontanários públicos, associações de carácter social sem fins lucrativos | 268\$67 |
|------------------------|---|---------|

Tarifa III-B

| | | |
|----------------------------|--|----------------|
| Comércio e Serviços | Aplicável aos serviços públicos, embaixadas, serviços consulares, estabelecimentos comerciais públicos e privados, empresas de navegação aérea e marítima e armazéns | Consumo <=20m3 |
| | | 448\$31 |
| | | Consumo >20m3 |
| | | 526\$22 |

Tarifa IV-A

| | | |
|----------------------|---|---------|
| Autotanques I | Aplicável no fornecimento por autotanques a hospitais, fontanários públicos, associações de carácter social sem fins lucrativos | 271\$20 |
|----------------------|---|---------|

Tarifa IV-B

| | | |
|-----------------------|---|---------|
| Autotanques II | Aplicável no fornecimento por autotanques, para outros usos | 466\$53 |
|-----------------------|---|---------|

Anexo 2: Dimensionamento do sistema fotovoltaico no software PVSYST

| | | | |
|--------------|--|----------|-------------|
| PVSYST V6.85 | | 17/11/19 | Página 1/10 |
|--------------|--|----------|-------------|

Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

Projeto : FV-OI

Localização geográfica Calhau País Cape Verde

Localização Latitude 16.86° N Longitude -24.87° W
 Tempo definido como Tempo legal Fuso horário TU-1 Altitude 91 m
 Albedo 0.20

Dados meteorológicos: Calhau Meteoronorm 7.2 (1980-1991), Sat=100% - Sintético

Variante da simulação : Nova variante da simulação
 Data da simulação 17/11/19 22h51

Parâmetros da simulação Tipo de sistema No 3D scene defined, no shadings

Orientação do plano dos módulos Inclinação 16° Azimute 0°

Modelos utilizados Transposição Perez Difuso Perez, Meteoronorm

Horizonte Sem horizonte

Sombras próximas Sem sombras

Exigências do consumidor : perfil diário Constantes ao longo do ano
 média 137 kWh/Dia

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|----|
| | 0 h | 1 h | 2 h | 3 h | 4 h | 5 h | 6 h | 7 h | 8 h | 9 h | 10 h | 11 h | |
| | 12 h | 13 h | 14 h | 15 h | 16 h | 17 h | 18 h | 19 h | 20 h | 21 h | 22 h | 23 h | |
| Hourly load | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.20 | 15.20 | 15.20 | 15.20 | kW |
| | 15.20 | 15.20 | 15.20 | 15.20 | 15.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | kW |

Características do grupo FV

Módulo FV Si-poly Modelo **AXIpower AC-320P/156-72S**
 Original PVSyst database Fabricante Axitec USA
 Número de módulos FV Em série 18 módulos Em paralelo 4 strings
 Número total de módulos FV Nr. módulos 72 Potência unitária 320 Wp
 Potência global do grupo Nominal (STC) **23.04 kWp** Em condições de func. 20.63 kWp (50°C)
 Características de funcionamento do grupo (50°C) Umpp 597 V I mpp 35 A
 Superfície total Superfície módulos **140 m²** Superfície célula 126 m²

Inversor Modelo **Sunny Tripower 25000TL-JP-30**
 Original PVSyst database Fabricante SMA
 Características Tensão de funcionamento 390-800 V Potência unitária 25.0 kWac
 Bateria de inversores N.º de inversores 2 * MPPT 50 % Potência total 25 kWac
 Rácio Pnom 0.92

Fatores de perda do grupo FV

Fator de perdas térm. U_c (const.) 20.0 W/m²K U_v (vento) 0.0 W/m²K / m/s

Perdas ôhmicas nos cabos Res. global do grupo 290 mOhm Fração perdas 1.5 % em STC

LID - "Light Induced Degradation" Fração perdas 1.0 %

Perdas de qualidade dos módulos Fração perdas -0.5 %

Perdas de módulos com mismatch Fração perdas 1.0 % no MPP

Perdas de strings com mismatch Fração perdas 0.10 %

Efeito de incidência, parametrização ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Param. bo 0.05

